

核技术利用建设项目
大同市第三人民医院
乙级非密封放射性物质工作场所、
使用 II 类医用射线装置
及使用钷-90 树脂微球介入治疗项目
环境影响报告表

(公示本)

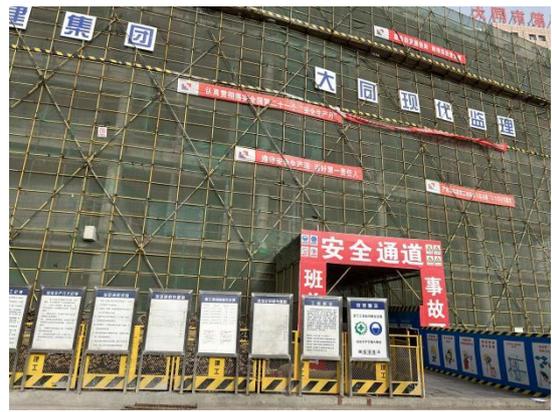
大同市第三人民医院

2023 年 10 月

生态环境部监制



医技急诊楼现状



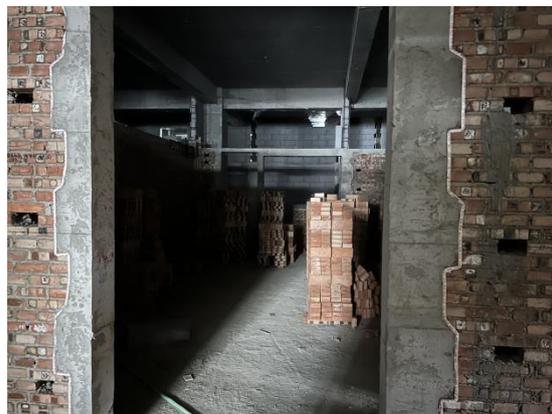
医技急诊楼现状



本项目新建核医学科场所



本项目新建核医学科场所



本项目新建介入科现状



本项目新建介入科现状

目 录

表 1 项目基本情况	1
表 2 放射源	17
表 3 非密封放射性物质	17
表 4 射线装置	18
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）	18
表 6 评价依据	20
表 7 保护目标与评价标准	22
表 8 环境质量和辐射现状	26
表 9 项目工程分析与源项	31
表 10 辐射安全与防护	46
表 11 环境影响分析	75
表 12 辐射安全管理	107
表 13 结论与建议	117
表 14 审批	123

表 1 项目基本情况

建设项目名称	大同市第三人民医院乙级非密封放射性物质工作场所、使用 II 类医用射线装置及使用钷-90 树脂微球介入治疗项目					
建设单位	大同市第三人民医院					
法人代表	张宝成	联系人	王 希	联系电话	18803529114	
注册地址	山西省大同市平城区文昌街 43 号					
项目建设地点	大同市第三人民医院新建医技急诊楼地下二层和地上五层					
立项审批部门	/		批准文号	/		
建设项目总投资（万元）	6000	环保投资（万元）	300	投资比例（环保投资/总投资）	5.0%	
项目性质	<input checked="" type="checkbox"/> 新建 <input type="checkbox"/> 改建 <input type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它			占地面积（m ² ）	核医学	3135
					DSA	2900
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input checked="" type="checkbox"/> V 类			
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物			
		<input type="checkbox"/> 销售	/			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙			
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类			
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类			
	其他	/				

1.1 建设单位概述

大同市第三人民医院始建于 1958 年 8 月，位于山西省大同市平城区文昌街 43 号，地理位置优越，交通便利，医院占地面积 54600m²，建筑面积 90850m²，是一所集医疗、教学、科研、预防、保健、康复等为一体的“三级甲等”综合性医院；医院现开放床位 1200 张，共有职工 1619 人，其中卫生技术人员 1398 人，正高职称 70 人，副高职称 166 人，研究生学历 142 人。医院开设 34 个临床科室和 8 个医技科室，其中省重点专科 2 个（心血管内科和普通外科），省市共建重点学科 4 个，市级重点学科 16 个。

大同市第三人民医院现持有《辐射安全许可证》，有效期至 2024 年 4 月 28 日，编号：晋环辐证【00014】，许可种类和范围：使用 II 类、III 类射线装置，使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所（见附件 4）。

为提升医院服务质量，大同市第三人民医院在院区内新建医技急诊楼，总建筑面积 75000m²，新增床位 400 张。该建设项目于 2020 年 3 月 12 日取得《关于山西省大同市第三人民医院新建医技、急诊楼项目环境影响报告表的批复》（平城环函【2020】16 号）。目前新建医技急诊楼工程主体结构正在建设。

1.2 项目由来

大同市第三人民医院为了拓展医院业务范围、提高医院医疗服务水平，更好的满足人民群众医疗服务需求，医院拟开展核技术利用项目：新增两个乙级非密封放射性物质工作场所、使用 2 台 II 类医用射线装置、使用 3 台 III 类医用射线装置；本项目使用的 PET/CT 和 PET/MR 各配备 2 枚 V 类放射源 ^{68}Ge 作为设备校准源。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》以及《建设项目环境保护管理条例》等相关规定，该项目的建设应进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版），本报告项目属于 172 核技术利用建设项目类别中的乙级非密封放射性物质工作场所和使用 II 类医用射线装置项目，其环境影响评价文件类别为：核技术利用项目环境影响报告表。

为保护环境和人员健康，严格执行《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》，医院委托山西贝可勒环境检测有限公司对“大同市第三人民医院乙级非密封放射性物质工作场所、使用 II 类医用射线装置及使用钷-90 树脂微球介入治疗项目”进行环境影响评价。经过编制人员的现场踏勘和资料收集，按照《辐射环境保护管理导则核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》HJ10.1-2016 的要求，编制完成了本项目的环境影响报告表。

1.3 项目概况

1.3.1 项目建设内容及规模

大同市第三人民医院拟在医技急诊楼开展核技术利用项目，包括新增两个乙级非密封放射性物质工作场所、使用 2 台 II 类医用射线装置、使用 3 台 III 类医用射线装置、使用 4 枚 V 类校准源。具体如下：

1、计划在医技急诊楼地下二层（以下简称“医技急诊楼 B2”）东北侧新建核医学工作场所，拟使用 9 种放射性核素，拟购置使用 1 台 PET/CT、1 台 PET/MR 和 2 台 SPECT/CT，属于新增乙级非密封放射性物质工作场所；本项目使用的 PET/CT 和 PET/MR 各配备 2 枚 V 类放射源 ^{68}Ge 作为设备校准源。

2、计划在医技急诊楼地上五层（以下简称“医技急诊楼 5F”）西北侧介入科设置 2 个导管室，拟购置安装 2 台数字减影血管造影机（以下简称“DSA”），属于 II 类射线装置，主要参数均为 125kV/1000mA。

3、医院开展钷-90 树脂微球介入治疗项目，计划在医技急诊楼 B2 进行药物分装，并在医技急诊楼 5F 介入科 DSA1 室进行药物输注。DSA1 室属于乙级非密封放射性物质工作场所。

表 1-1 本项目建设内容及规模一览表

名称		建设内容	备注	
核医学 工作场所	医技急 诊楼 B2	<p>使用 9 种放射性核素 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)、^{18}F、^{68}Ge (^{68}Ga)、^{131}I、^{89}Sr、^{153}Sm、^{32}P、^{90}Y 和 ^{125}I 粒籽源，配备 1 台 PET/CT、1 台 PET/MR 和 2 台 SPECT/CT，为乙级非密封放射性工作场所。使用 4 枚 V 类放射源 ^{68}Ge 作为设备校准源；</p> <p>PET/CT 诊疗区包括： PET/MR 检查室、PET/CT 检查室、PET 注射后候诊室 1、PET 注射后候诊室 2、PET 留观室、污物间 2 等；</p> <p>高活区包括： 储源 1 室、粒籽源装载室、锗镓发生器室（配套手套箱，用于 ^{68}Ga 的制备，核素 ^{68}Ga 分装标记）、发生器室（配备手套箱，用于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的淋洗，核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 分装标记）、敷贴制备间（配备手套箱，用于敷贴药品制备）、质控室（配备手套箱，用于非密封放射性药品的质控）、分装室（配备手套箱，用于核素 ^{18}F、^{89}Sr 和 ^{153}Sm 分装标记）、PET 注射室、SPECT 注射室、污物间 1、抢救室 1、病人通道 1 等；</p> <p>SPECT/CT 诊疗区包括： SPECT/CT 检查 1 室、SPECT/CT 检查 2 室、SPECT 注射后候诊室 1、SPECT 注射后候诊室 2、SPECT 留观室 1、SPECT 留观室 2、实验室 1、实验室 2、病人通道 2 等；</p> <p>^{131}I 诊疗区包括： 储源 2 室、^{131}I 自动分装室（配备手套箱，用于核素 ^{131}I 的分装）、服碘室、抢救室、甲癌病房（5 间）、甲亢病房（2 间）、污物间 3、病人通道 3 等；</p> <p>场所西侧设置 1 间 ^{125}I 植入专用病房和 1 间 ^{90}Y 患者专用病房；核医学科中涉及药物的分装、制备及质控等操作均在手套箱中进行。</p>	新建	
		辅助工程	配套设备间、示教/阅片、医生办公区、候诊登记等设施。	新建
		公用工程	供水、供电、通讯等设施，均依托医院基础设施。	/
		环保工程	<p>涉及核素应用的各功能室建设相应的实体屏蔽防护；</p> <p>建设一座 266.4m^3 的槽式衰变池和一座 28.5m^3 的三级推流式衰变池，用于收集贮存放射性废液；</p> <p>核医学科各区域分别设置气态放射性废物专用排风管道，经安装活性炭过滤装置净化处理后，最终引至医技急诊楼楼顶排放；</p> <p>配备的手套箱设置单独的排风系统，并在箱体上方安装活性炭过滤装置（^{131}I 自动分装的手套箱安装碘吸附装置和活性炭过滤装置），最终引至医技急诊楼楼顶排放；</p> <p>各场所配置放射性废物桶，产生的固体放射性废物按放射性核素种类分类、分期收集后，在污物间内进行贮存；废弃粒籽源、废钼铈发生器和锗镓发生器在废物间暂存，最终由厂家回收；</p> <p>退役校准放射源厂家回收或送山西省城市放射性废物库等有资质单位收贮。</p>	新建

表 1-1 本项目建设内容及规模一览表（续表）

名称		建设内容	备注	
核医学 工作场所	DSA1 室 医技急诊 楼 5F	主体工程	使用核素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y ，为乙级非密封放射性工作场所。	新建
		辅助工程	缓冲区等。	新建
		公用工程	供水、供电等设施，均依托医院基础设施。	/
		环保工程	配置放射性废物桶，用于分类收纳介入输注过程中产生的固体放射性废物，由 8# 电梯转运至医技急诊楼 B2 放射性废物间 2 进行暂存，纳入核医学固体放射性废物管理和处置； 核素 ^{99m}Tc 、 ^{90}Y 树脂微球介入注射手术过程中如发生撒漏，则使用吸水纸等多次擦拭后收集贮存于放射性废物桶，按固体放射性废物处理； 机房设置机械排风系统进行排风。	新建
II 类射线 装置机房	DSA1 室、 DSA2 室	主体工程	DSA 机房防护施工及设备安装。 DSA1 室机房面积 58.74m ² （南北 8.9m、东西 6.6m）； DSA2 室机房面积 67.64m ² （南北 8.9m、东西 7.6m）； 两个机房四周墙体及各防护门、观察窗防护情况一致，均为： 四周墙体：方管龙骨架+3mmPb 硫酸钡复合板； 屋顶为 100mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板； 地面为 250mm 混凝土； 受检者出入门：3mm 铅电动推拉门； 辐射工作人员出入门：3mm 铅自动平开门； 观察窗：3mmPb 铅玻璃。	新建
		辅助工程	DSA 控制室、设备间等。	新建
		公用工程	供水、供电等设施，均依托医院基础设施。	/
		环保工程	工作人员产生的废水依托医院的污水管网； 手术过程中产生的医疗废物进行收集后，运至医院医疗废物暂存间收集暂存，交有资质单位处置； DSA 机房通过专用排风系统进行排风； DSA 机房采用硫酸钡板、铅门和铅玻璃等作为防护体，确保室外辐射环境达标。	新建

1.3.2 医技急诊楼 B2 新建核医学工作场所

1、新建核医学工作场所建设内容及设施配置

新建核医学工作场所位于医技急诊楼 B2 东北侧，远离产科、儿科和食堂等人员密集区，核医学工作场所的内部布局为：北部为医护人员办公区域，东部为患者接诊，中部为诊疗区域。中部区域物理隔离了 5 个独立区域：北部是医护人员办公区和 PET/CT 诊疗区、中部是药物操作区（高活区）和 SPECT/CT 诊疗区、南部是碘治疗区；患者离院出口设置在场所西北侧。

表 1-2 新建核医学场所功能区屏蔽情况及设施设备配置一览表

功能区	场所	工程建设内容	拟配备的设施等
PET/CT 诊疗区	PET/MR 检查室 9.07×8.43 =76.46m ²	四周墙体：240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡，其中东墙同 PET 注射后候诊室 2 为 370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板； 地板：250mm 混凝土； 观察窗：12mmPb 铅玻璃； 医生防护门：12mm 铅（手动平开门）； 患者防护门：12mm 铅（电动平移门）。	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、污物桶等
	PET/CT 检查室 9.07×7.86 =71.29m ²	四周墙体：240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡，其中西墙同 PET 注射后候诊室 2 为 370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡；东墙同 PET 注射后候诊室 1 为 240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 观察窗：12mmPb 铅玻璃； 医生防护门：12mm 铅（手动平开门）； 患者防护门：12mm 铅（电动平移门）。	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和放射性污染防护服、铅橡胶围脖、污物桶等
	PET 注射后 候诊室 1 3.74×3.81 =14.23m ²	北墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 其余墙体：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：10mm 铅（手动平开门）。	专用卫生间 移动铅屏风 放射性污物桶 视频监控 对讲广播
	PET 注射后 候诊室 2 3.85×7.98 =30.72m ²	四周墙体：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：10mm 铅（手动平开门）。	专用卫生间 移动铅屏风 放射性污物桶 视频监控 对讲广播
	PET 留观室 5.60×4.62+ 4.05×3.53 =40.17m ²	东、西墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 南、北墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：10mm 铅（手动平开门）。	专用卫生间 移动铅屏风 放射性污物桶 视频监控 对讲广播
	PET 注射室 2.24×2.67 =5.98m ²	四周墙体：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：15mm 铅（手动平开门）； 注射窗：25mmPb 铅玻璃	铅屏蔽注射台 注射器铅套 个人防护用品 放射性污物桶
	污物间 2 1.52×2.07 =3.15m ²	四周墙体：240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：5mm 铅（手动平开门）。	放射性污物桶 独立排风装置
	清洁间 1.52×1.66 =2.52m ²	四周墙体：240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：5mm 铅（手动平开门）。	放射性污物桶

表 1-2 新建核医学场所功能区建设内容及设施设备配置一览表（续表）

功能区	场所	工程建设内容	拟配备的设施等
高活区	储源 1 室 2.12×2.32 =4.92m ²	四周墙体：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：20mm 铅（手动平开门）	防盗报警装置 视频监控； 储源铅容器； 辐射警告标志
	粒籽源 装载室 2.64×2.66 =7.02m ²	四周墙体：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	装载工具 铅眼镜（0.35mmPb） 铅衣、颈套（0.5mmPb）铅 手套（0.25mmPb） 放射性污物桶等
	锗镓 发生器室 3.31×1.95 =6.45m ²	四周墙体：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	手套箱：独立排风+活性炭 过滤；活度计等质控设备
	发生器室 3.31×2.82 =9.33m ²	东、南、西墙：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 北墙：240mm 实心砖+5mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	手套箱：独立排风+活性炭 过滤；活度计等质控设备 防盗报警装置 视频监控； 储源铅容器； 辐射警告标志
	敷贴 制备室 2.00×1.35 =2.70m ²	四面墙：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	手套箱：独立排风+活性炭 过滤；活度计等质控设备
	质控室 2.00×2.47 =4.94m ²	四面墙：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：20mm 铅（手动平开门）	手套箱：独立排风+活性炭 过滤；活度计等质控设备
	分装室 2.37×2.90 =6.87m ²	四周墙体：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：10mm 铅（手动平开门）	手套箱：独立排风+活性炭 过滤；活度计等质控设备
	污物间 1 2.90×2.66 =7.71m ²	四周墙体：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：20mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶 独立排风装置
	抢救室 1 4.12×2.41 =9.93m ²	四周墙体：240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 北侧和南侧防护门：4mm 铅（手动平开门）	运动器材； 急救设施如除颤仪等。
	病人通道 1	出入口防护门：20mm 铅（手动对开门）； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土	门禁装置

表 1-2 新建核医学场所功能区建设内容及设施设备配置一览表（续表）

功能区	场所	工程建设内容	拟配备的设施等
SPECT/CT 诊疗区	SPECT/CT1 室 8.12×8.00 =64.96m ²	四周墙体：240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 观察窗：5mmPb 铅玻璃； 医生防护门：5mm 铅（手动平开门）； 患者防护门：5mm 铅（电动平移门）	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和 放射性污染防护服、铅橡 胶围脖、污物桶等各 2 套
	SPECT/CT2 室 8.50×8.12 =69.02m ²	四周墙体：240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 观察窗：5mmPb 铅玻璃； 医生防护门：5mm 铅（手动平开门）； 患者防护门：5mm 铅（电动平移门）	铅橡胶衣、铅橡胶围裙和 放射性污染防护服、铅橡 胶围脖、污物桶等各 2 套
	SPECT 注射室 2.88×2.47 =7.11m ²	四周墙体：240mm 实心砖+4.0mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：4mm 铅（手动平开门） 注射窗：10mmPb 铅玻璃	铅屏蔽防护注射窗
	SPECT 留观室 1 3.26×6.27 =20.44m ²	四周墙体：240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：4mm 铅（手动平开门）	专用卫生间 移动铅屏风 放射性污物桶 视频监控和对讲广播
	SPECT 留观室 2 4.22×4.92 =20.76m ²	四周墙体：240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：4mm 铅（手动平开门）	专用卫生间 移动铅屏风 放射性污物桶 视频监控和对讲广播
	SPECT 注射后 候诊室 1 2.81×4.06 =11.41m ²	四周墙体：240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：4mm 铅（手动平开门）	专用卫生间 移动铅屏风 放射性污物桶 视频监控和对讲广播
	SPECT 注射后 候诊室 2 3.00×4.87 =14.61m ²	四周墙体：240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：4mm 铅（手动平开门）	专用卫生间 移动铅屏风 放射性污物桶 视频监控和对讲广播
	清洁间 2.13×2.67 =5.69m ²	四周墙体：240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：2mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶 排风装置
	病人通道 2	出入口防护门：20mm 铅（手动对开门）； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土	有门禁装置

表 1-2 新建核医学场所功能区建设内容及设施设备配置一览表（续表）

功能区	场所	工程建设内容	拟配备的设施等
碘治疗区	储源 2 室 3.31×1.37 =4.53m ²	东墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 南、西、北墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：20mm 铅（手动平开门，双人双锁）	防盗报警装置和监控； 储源铅容器或柜； 电离辐射警告标志
	¹³¹ I 自动分装室 3.87×2.11 =8.17m ²	四周墙体：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：10mm 铅（手动平开门）； 西传递窗：25mm 铅	分装手套箱 独立排风+碘吸附过滤 视频监控 污物桶（20mmPb）
	患者自助 服碘室 2.12×1.85 =3.92m ²	四周墙体：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：20mm 铅（手动平开门）	排风装置 污物桶（20mmPb） 视频监控 和对讲广播
	污物间 3 2.16×1.37 =2.96m ²	西墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 东、南、北墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：20mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb） 排风装置
	甲癌病房 1 3.75×4.0 =15.00m ²	东、南墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 西、北墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb）
	甲癌病房 2 3.75×4.0 =15.00m ²	西、南墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 东、北墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb）
	甲癌病房 3 3.75×4.0 =15.00m ²	东、南墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 西、北墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb）
	甲癌病房 4 3.54×4.00 =14.16m ²	西、南墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 东、北墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb）
	甲癌病房 5 3.67×4.00 =16.68m ²	东、南、西墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 北墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb）
	甲亢病房 1 4.95×3.33 =16.48m ²	四周墙体：240mm 实心砖+10mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：8mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb）

表 1-2 新建核医学场所功能区建设内容及设施设备配置一览表（续表）

功能区	场所	工程建设内容	拟配备的设施等
碘治疗区	甲亢病房 2 4.95×3.86 =19.11m ²	四周墙体：240mm 实心砖+10mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：8mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb）
	抢救室 2 3.60×4.00 =14.40m ²	东、西墙：370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 南、北墙：240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板； 防护门：15mm 铅（手动平开门）	急救设施如除颤仪等。
	配餐室 2.28×4.26 =9.71m ²	四周墙体：240mm 实心砖+3mmPb 硫酸钡； 屋顶：250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：16mm 铅（手动平开门） 配餐口：15mm 铅防护窗	传递窗（16mmPb）
	病人通道 3	出入口防护门：20mm 铅（手动对开门）； 屋顶：250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土	门禁装置
¹²⁵ I 粒子植入病房 4.36×3.20 =13.76m ²	四周墙体：240mm 实心砖 屋顶：250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：4mm 铅（手动平开门）	放射性污物桶（20mmPb）	
⁹⁰ Y 病房 4.36×3.20 =10.46m ²	四周墙体：240mm 实心砖 屋顶：250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板； 地下：250mm 混凝土； 防护门：4mm 铅（手动平开门）	急救设施如除颤仪等。	
通风系统	拟活性区和非活性区分别安装新风系统。 核医学场所控制区专门设置了 5 套排风系统： 1、质控室手套箱、发生器室手套箱、锗镓发生器室手套箱、碘自动分装手套箱、分装室手套箱、敷贴制备手套箱设置独立排风系统； 2、PET/CT 诊疗区排风系统（包含 ¹²⁵ I 和 ⁹⁰ Y 病房）； 3、SPECT/CT 诊疗区排风系统（包含敷贴室）； 4、碘-131 治疗区排风系统（包含门诊）； 5、甲癌病房（5 间）设置独立排风系统	各手套箱支管均安装止回阀； 各区域排风支管在接入主管前安装止回阀，总管出口安装高效活性炭过滤净化装置，于医技急诊楼楼顶排放	
衰变池	拟设置 2 座衰变池，位于医技急诊楼北侧空地。 一座三级推流式衰变池容积 28.5m ³ ，一座三级槽式衰变池容积为 266.4m ³ 。 放射性废液贮存衰变检测达标后，排入医院废水管网	衰变池地上设置有围栏，悬挂电离辐射标志，排水水泵采用一用一备，排水管道采用防护材料包裹，不采用 U 型管道，防止废液驻留	

2、拟使用非密封放射性物质

拟使用 9 种放射性核素 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)、 ^{18}F 、 ^{68}Ge (^{68}Ga)、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 和 ^{125}I 粒籽源。

表 1-3 新建核医学科计划核素使用一览表

核素名称	半衰期	性状	射线类型	单人最大用量 Bq/人	日最多接诊患者数	日最大操作量 Bq	年工作天数 d	用途
^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	6.02h	液态	γ	7.40×10^8	10	7.4×10^9	240	SPECT 显像
				1.5×10^8	1	1.5×10^8	200	^{90}Y 输注
^{18}F	109.8min	液态	e^+ 、 γ	5.55×10^8	40	2.22×10^{10}	240	PET 显像
^{68}Ge (^{68}Ga)	68.3min	液态	e^+	3.70×10^8	10	3.70×10^9	240	
^{131}I	8.04d	液态	γ 、 β	5.55×10^9	5	2.78×10^{10}	240	甲癌治疗
				5.55×10^8	10	5.55×10^9	240	甲亢治疗
^{89}Sr	50.5d	液态	β	1.48×10^8	2	2.96×10^8	240	骨癌治疗
^{153}Sm	46.5h	液态	γ 、 β	1.85×10^9	2	3.70×10^9	240	
^{32}P	14.3d	液态	β	3.70×10^7	20	7.40×10^8	240	敷贴治疗
^{90}Y	64.1h	液态	β	3.0×10^9	1	3.0×10^9	200	靶向治疗
^{125}I 粒籽源	59.4d	固态	γ	5.92×10^9	2	1.184×10^{10}	240	粒子植入

3、拟使用放射源、射线装置及 PET/MR

表 1-4 拟配备诊疗设备、放射源一览表

序号	名称	类别	数量	主要参数	用途	工作场所
1	SPECT/CT	III类	2	CT: 150kV/1000mA	核素显像	医技急诊楼 B2 核医学场所 SPECT/CT1-2 室
2	PET/CT	III类	1	CT: 150kV/1000mA		医技急诊楼-2F 核医学科 PET/CT 室
3	PET/MR	/	1	3.0T		医技急诊楼-2F 核医学科 PET/MR 室
4	^{68}Ge	V类	2	$2.22 \times 10^8 \text{Bq}$	设备校准	PET/CT 室和 PET/MR 室
5	^{68}Ge	V类	2	$9.25 \times 10^7 \text{Bq}$		

4、医技急诊楼 B2 非密封放射性物质工作场所的等级

根据 GB18871-2002 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》提供的非密封放射性物质工作场所的日等效最大操作量的计算方法：

$$\text{日等效最大操作量} = \frac{\text{实际日最大操作量} \times \text{毒性组别修正因子}}{\text{操作方式修正因子}}$$

表 1-5 医技急诊楼 B2 新建核医学场所拟使用的非密封核素日等效最大操作量

序号	核素	理化状态	实际日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	使用储存地点
1	^{99m} Mo	液体	1.11×10 ¹⁰	中毒 0.1	贮存 100	1.11×10 ⁷	医技急诊楼 B2 核医学场所
	^{99m} Tc	液体	0.755×10 ¹⁰	低毒 0.01	简单 1	0.755×10 ⁸	
2	¹⁸ F	液体	2.22×10 ¹⁰	低毒 0.01	很简单 10	2.22×10 ⁷	
3	⁶⁸ Ge	液体	1.85×10 ⁹	低毒 0.01	贮存 100	1.85×10 ⁵	
	⁶⁸ Ga	液体	3.70×10 ⁹	低毒 0.01	简单 1	3.70×10 ⁷	
4	¹³¹ I	液体	3.33×10 ¹⁰	中毒 0.1	简单 1	3.33×10 ⁹	
5	⁸⁹ Sr	液体	2.96×10 ⁸	中毒 0.1	很简单 10	2.96×10 ⁶	
6	¹⁵³ Sm	液体	3.70×10 ⁹	中毒 0.1	很简单 10	3.70×10 ⁷	
7	³² P	液体	7.40×10 ⁸	中毒 0.1	很简单 10	7.40×10 ⁶	
8	⁹⁰ Y	液体	3.0×10 ⁹	中毒 0.1	很简单 10	3.0×10 ⁷	
9	¹²⁵ I 粒籽源	固体	1.184×10 ¹⁰	中毒 0.1	很简单 10	1.184×10 ⁸	

注：1、核素 ^{99m}Tc 由 ⁹⁹Mo (^{99m}Tc) 发生器淋洗获得，根据市场 ⁹⁹Mo (^{99m}Tc) 规格和接诊人数，每周需购置 300mCi 的 ⁹⁹Mo (^{99m}Tc) 发生器 1 柱；核素 ⁶⁸Ga 在 ⁶⁸Ge (⁶⁸Ga) 发生器中母体 ⁶⁸Ge 生成 ⁶⁸Ga，每套 ⁶⁸Ge (⁶⁸Ga) 发生器能供应生产 ⁶⁸Ga 约半年；其余核素均由放射性药物生产公司直接配送，当天到货当天使用。

2、核素 ¹³¹I 包括甲癌、甲亢治疗，日最大操作量为 3.33×10¹⁰Bq。

3、¹²⁵I 粒籽源为密封源，每颗活度为 3.7×10⁷Bq (1mCi)，每人最多植入 160 个，单人用量为 5.92×10⁹Bq，计划接诊 2 人/日，实际日最大操作量为 1.184×10¹⁰Bq。

经计算，大同第三人民医院医技急诊楼 (B2) 新建核医学科使用非密封放射性核素日等效最大操作量为：3.67×10⁹Bq，依据 GB18871-2002 附录 C 中规定“2×10⁷Bq<A≤4×10⁹Bq 为乙级非密封源工作场所”，因此，大同市第三人民医院医技急诊楼 (B2) 新建核医学场所为乙级非密封放射性物质工作场所。

5、新建核医学科工作人员

核医学科计划配备辐射工作人员 24 人，其中 4 人为现有辐射工作人员，拟计划新增 20 名辐射工作人员。

表 1-6 配备现有核医学科人员一览表

序号	姓名	性别	职称	培训证号	培训时间	备注
1	闫君	女	副主任医师	FS21SX0300077	2021 年 12 月	培训证书均在有效期内
2	常雁荣	女	主治医师	FS21SX0300078	2021 年 12 月	
3	魏美梅	女	主管护师	FS21SX0300115	2021 年 12 月	
4	赵美桃	女	护师	201994014	2019 年 9 月	

本项目新增人员应全部在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台

(<http://fushe.mee.gov.cn/>) 进行自主学习，参加“核医学”辐射安全与防护考核，考核后方可上岗。

1.3.3 血管造影机（DSA）

1、新建介入科 DSA 室（医技急诊楼 5F）建设内容及设施配置

表 1-7 新建介入科 DSA 室（5F）建设内容一览表

分类		工程组成	备注
主体工程	DSA1 室 (东)	机房面积 58.74m ² （南北 8.9m、东西 6.6m）；H=4.5m 四周墙体：方管龙骨架+3mmPb 硫酸钡复合板； 屋顶为 100mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板 地面为 250mm 混凝土； 受检者出入口：3mm 铅电动推拉门； 辐射工作人员出入口：3mm 铅自动平开门； 观察窗：3mmPb 铅玻璃	依托主体工程，进行防护设施施工及安装； 配备表面污染仪和辐射巡测仪，放射性屏蔽废物桶 2 个
	DSA2 室 (西)	机房面积 67.64m ² （南北 8.9m、东西 7.6m）；H=4.5m 四周墙体：方管龙骨架+3mmPb 硫酸钡复合板； 屋顶为 100mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板； 地面为 250mm 混凝土； 受检者出入口：3mm 铅电动推拉门； 辐射工作人员出入口：3mm 铅自动平开门； 观察窗：3mmPb 铅玻璃	依托主体工程，进行防护设施施工及安装
辅助工程	辅助用房	手术人员通道、病人通道、设备间和控制室等	防护施工
公用工程		供水、供电、通讯等	依托医院基础设施

2、新建介入科拟购 DSA 主要参数

表 1-8 新建 DSA 室设备及技术参数一览表

名称	类别	数量	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所
数字减影血管造影机（DSA）	II类	2	125	1000	医学诊疗	医技急诊楼 5F 西北侧介入科 DSA1、DSA2 室

3、新建介入科 DSA 室工作人员

DSA 室计划配备辐射工作人员 12 人，其中 6 人为现有辐射工作人员，其余 6 人为新上岗人员。

表 1-9 新建介入科 DSA 室拟配备人员一览表

序号	姓名	性别	职称/学历	培训证号	培训时间	备注
1	张 义	男	副主任医师	FS21SX0101080	2021 年 12 月	/
2	郑军军	男	中级	FS21SX0100643	2021 年 12 月	
3	臧 鹏	男	中级	FS21SX0101081	2021 年 12 月	
4	白如冰	男	副主任医师	FS21SX0100631	2021 年 12 月	
5	屈 飞	男	/	FS21SX0100429	2021 年 12 月	
6	杜立新	男	/	FS21SX0101102	2021 年 12 月	

新增辐射工作人员应尽快在国家核技术利用辐射安全与防护培训平台 (<http://fushe.mee.gov.cn/>) 进行学习并分别参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，考核后方可上岗。

1.3.4 使用 ^{90}Y 树脂微球开展介入治疗

医院计划利用医技急诊楼 B2 新建核医学场所和介入科 (5F) DSA1 室，开展 ^{90}Y 树脂微球介入治疗项目。核医学科负责药物 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 的药物淋洗和 ^{90}Y 树脂微球药物的登记储存、抽取和活度测量、SPECT/CT1 室进行扫描显影及放射性废物暂存处置等工作，在介入科 DSA1 室 (5F) 完成患者的药物输注工作，患者留观/住院专用病房设置在核医学科 (B2) 场所内西侧病房区。

表 1-10 介入科 DSA1 室使用的非密封核素日等效最大操作量

序号	核素	理化状态	实际日最大操作量 (Bq)	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	日等效最大操作量 (Bq)	使用地点
1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	液体	1.5×10^8	0.01	10	1.5×10^5	介入科 5F DSA1 室
2	^{90}Y	液体	3.0×10^9	0.1	10	3.0×10^7	

经计算，大同第三人民医院医技急诊楼 5F 新建介入科 DSA1 室使用非密封放射性核素日等效最大操作量为： $3.015 \times 10^7 \text{Bq}$ ，依据 GB18871-2002 附录 C 中规定“ $2 \times 10^7 \text{Bq} < A \leq 4 \times 10^9 \text{Bq}$ 为乙级非密封源工作场所”，因此，大同市第三人民医院医技急诊楼 5F 新建介入科 DSA1 室为乙级非密封放射性物质工作场所。

医院计划接诊 ^{90}Y 树脂微球治疗患者为 1 人/日，每周工作 5 天，每年最多接诊 200 人。

核医学科医护人员负责非密封核素的准备和给药等操作以及及固体放射性废物的收纳、暂存和处置工作、以及患者留观住院期间管理工作；介入科医护人员负责患者的介入导管植入手术，不进行非密封核素的操作。 ^{90}Y 树脂微球治疗项目涉及辐射工作人员均需进行相关培训与考核，持证上岗。

1.4 项目位置

1.4.1 建设单位的地理位置

大同市第三人民医院位于山西省大同市平城区，东临魏都大道，北临迎宾街，南临文昌街，西临圆中园小区、云新小区。医院地理位置图见附图 1。

1.4.2 项目工作场所位置

大同市第三人民医院院区东侧由北至南依次为：门诊楼、急诊楼和外科住院楼，西侧由北至南依次为：内科住院楼、临时食堂、保健楼和在建医技急诊楼。平面布置见附图 2。

新建医技急诊楼位于医院南侧，“刀把”型建筑，地上7层、地下3层，其北侧为临时食堂和院区道路，南侧为医院南墙和南门，西侧为保健楼，东侧为医院外科住院楼。本项目新建两个非密封放射性物质工作场所分别位于医技急诊楼（B2）东北侧、医技急诊楼（5F）介入科 DSA1 室；新建介入科 2 个 DSA 室位于医技急诊楼（5F）西北侧。

1.5 医院核技术利用现状

大同市第三人民医院现持有《辐射安全许可证》，晋环辐证【00014】，有效期至：2024 年 4 月 28 日，许可种类和范围：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

大同市第三人民医院现状共使用 2 台Ⅱ类射线装置、23 台Ⅲ类射线装置，均在许可种类和范围内。许可使用的乙级非密封放射性物质工作场所于 2020 年 6 月 1 日取得山西省生态环境厅出具的《关于大同市第三人民医院核医学科工作场所及设施退役项目环境影响报告表的批复》（晋环审批函【2020】194 号），并于 2020 年 12 月 11 日进行核医学科工作场所及设施退役项目终态验收。

1.5.1 现使用的Ⅱ类、Ⅲ类射线装置台账

表 1-11 已许可使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置明细表

序号	装置名称	规格型号	类别	数量	最大管电压 kV	最大管电流 mA	安装位置	备注
1	X 光机	CH-30GX	Ⅲ	1	150	500	门诊楼负一层	晋环辐审【2009】112 号
3	X 光机	DHF-155HII	Ⅲ	1	150	500	门诊楼负一层	
4	X 光机	DHF-155HII	Ⅲ	1	150	500	门诊楼负一层	
5	床旁 X 光机	AD125P-MUX	Ⅲ	1	150	50	外科住院楼 ICU	
6	数字胃肠机	Tu-6000	Ⅲ	1	150	1000	门诊楼负一层	
7	体外冲击碎石机	ESWL-V1	Ⅲ	1	25	10	老干楼一层	
8	牙科 X 射线机	Expert DC	Ⅲ	1	65	7	门诊楼三层	
9	DR 机	XR656	Ⅲ	2	150	1000	门诊楼负一层	2020 年 备案
10	移动 C 型臂	OEC9900	Ⅲ	1	120	150	外科住院楼四层	
11	移动 C 型臂	Mobil Compact L	Ⅲ	1	110	8	外科住院楼 四层手术室	
12	移动式 X 线机	Disgnost wDR	Ⅲ	2	120	150	放射科	
13	数字血管造影机	QCeiling	Ⅱ	1	125	1000	内科住院楼 一层	同环函(服务)【2020】7 号
14	数字血管造影机	AlluraXper FD20C	Ⅱ	1	125	1250		
15	移动 C 型臂	OEC9900	Ⅲ	1	120	150	外科住院楼 四层	2020 年 7 月备案 202014020 200000072
16	骨密度检测仪	Prodigy Advance	Ⅲ	1	76	3	门诊楼-1 层	
17	乳腺 X 射线机	Senographe Pristina	Ⅲ	1	49	100	门诊楼-1 层	
18	双排层螺旋 CT	SOMATOM	Ⅲ	1	140	180	门诊楼-1 层	
19	256 层螺旋 CT	Brilliancei CT	Ⅲ	1	140	1000	门诊楼-1 层	2020 年 7 月备案 202014020 200000073
20	64 螺旋 CT	LightSpeed VCT	Ⅲ	1	140	800	外科住院楼 一层	
21	医用诊断 X 系统	XR6000	Ⅲ	1	150	630	规培楼一层	
22	X 射线机计算机体层摄影设备	Revolution ACT	Ⅲ	1	140	200	发热门诊 CT 室	
23	X 射线机计算机体层摄影设备	SOMATOM Force	Ⅲ	1	150	1300	规培楼一层	

1.5.2 辐射安全与环境保护管理机构

大同市第三人民医院成立了辐射安全与环境保护管理组，院长任组长，副院长任副组长，各科室主任为成员，配备了 1 名具有本科以上学历的专职管理员，全面负责医院的辐射安全与环境保护工作。

1.5.3 规章制度制定

大同市第三人民医院已制定了辐射安全管理制度、操作规程、安全防护设施的运维制度、辐射监测方案、检测仪表使用与校验管理制度、辐射工作人员培训管理制度、辐射工作人员个人剂量管理制度等。现有各项规章制度较为完善。

1.5.4 人员培训

大同市第三人民医院现有辐射工作人员，按照相关规定，全部参加了辐射安全和防护知识培训与考核，成绩合格，持证上岗，针对新增辐射工作人员制定了培训计划，按照相关规定和要求进行培训和考核，考核后上岗。

1.5.5 辐射应急事故管理

大同市第三人民医院成立了辐射事故应急领导小组，完善了医院辐射事故应急预案。

1.5.6 年度辐射安全评估报告

大同市第三人民医院每年 1 月 31 日前向上级管理部门提交医院年度评估报告。2022 年度评估报告已提交。

1.5.7 小结

大同市第三人民医院目前开展的核技术利用项目均进行了环境影响评价，取得了辐射安全许可，按照规定的程序和标准进行了验收，无超出许可种类和范围的项目，无未审批使用设施和场所。医院成立了辐射安全与环境保护管理机构，完善了人员培训和监测方案，制定了辐射事故应急预案等相关制度，积极组织全体辐射工作人员分次分批参加了辐射安全和防护知识培训，持证上岗，2022 年度评估报告已提交，无辐射事故的发生，各项管理规章制度较为齐备完善。

医院原许可使用的乙级非密封放射性物质工作场所现已完成退役，应当及时申请办理许可证变更手续。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) × 枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁶⁸ Ge	2.22E+8×2	V类	使用	刻度/校准源	PET/CT 检查室、PET/MR 检查室	校准源暂存间	本次环评
2	⁶⁸ Ge	9.25E+7×2	V类	使用	刻度/校准源	PET/CT 检查室、PET/MR 检查室	校准源暂存间	

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq/d)	日等效最大操作量 (Bq/d)	年最大用量 (Bq/a)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	⁹⁹ Mo 母体	液态	使用	1.11×10 ¹⁰	1.11×10 ⁷	5.55×10 ¹¹	淋洗 ^{99m} Tc	贮存	核医学科 医技急诊楼 (B2)	发生器室	本次环评
	⁹⁹ Mo (^{99m} Tc)	液态	使用	0.74×10 ¹⁰	0.74×10 ⁸	1.78×10 ¹²	SPECT 显像	简单		介入科 5F DSA1 室	
				1.50×10 ⁸	1.50×10 ⁶	3.0×10 ¹⁰	⁹⁰ Y 输注	简单	储源 1 室		
2	⁹⁰ Y	液态	使用	3.0×10 ⁹	3.0×10 ⁷	6.0×10 ¹¹	靶向治疗	很简单	核医学科 医技急诊楼 (B2)	储源 1 室	
3	¹⁸ F	液态	使用	2.22×10 ¹⁰	2.22×10 ⁷	5.33×10 ¹²	PET 显像	很简单		储源 1 室	
4	⁶⁸ Ge	液态	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁵	3.7×10 ⁹	淋洗 ⁶⁸ Ga	贮存	核医学科 医技急诊楼 (B2)	锆镓 发生器室	
	⁶⁸ Ge (⁶⁸ Ga)	液态	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁷	8.88×10 ¹¹	PET 显像	简单		储源 1 室	
5	⁸⁹ Sr	液态	使用	2.96×10 ⁸	2.96×10 ⁶	7.10×10 ¹⁰	治疗骨转移	很简单		储源 1 室	
6	¹⁵³ Sm	液态	使用	3.70×10 ⁹	3.70×10 ⁷	8.88×10 ¹¹		很简单		敷贴室	
7	³² P	液态	使用	7.40×10 ⁸	7.40×10 ⁶	1.78×10 ¹¹	敷贴治疗	很简单		储源 2 室	
8	¹³¹ I	液态	使用	3.33×10 ¹⁰	3.33×10 ⁹	7.99×10 ¹²	甲癌/甲亢	简单		粒子装载室	
9	¹²⁵ I	粒籽源	使用	1.184×10 ¹⁰	1.184×10 ⁸	2.84×10 ¹²	粒子植入	很简单			

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)。

⁹⁹Mo (^{99m}Tc) 发生器每周购置 1 柱 1.11×10¹⁰Bq (每柱 300mCi)，全年 50 周，年最大用量为：5.55×10¹¹Bq。

¹³¹I：甲癌病人住院至少 3 天，年最大用量为：120×5.55×10⁹Bq×3=2.0×10¹²Bq，甲亢年最大用量为：240×5.55×10⁸Bq×10=1.33×10¹²Bq。

⁹⁰Y 树脂微球治疗患者计划最大接诊患者：1 人/日，200 人/年，^{99m}Tc (1.50×10⁸Bq/人) 为模拟输注核素。

表 4 射线装置

(一) 加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (Mev)	剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
	本项目不涉及									

(二) X 射线机

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	待定	150	1000	PET 显像	医技急诊楼 (B2) 核医学科	本次环评
2	SPECT/CT	III	2	待定	150	1000	SPECT 显像		
3	DSA	II	2	待定	125	1000	医学诊疗	医技急诊楼 5F 西北侧 DSA1 室、DSA2 室	

(三) 中子发生器

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	本项目不涉及												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
含放射性核素的废液	液体	¹⁸ F ^{99m} Tc	/	/	/	总 β <10Bq/L	短半衰期衰变池	衰变池达标后排入医院污水处理系统，最后进入市政管网。
		¹³¹ I	/	/	/	总 β <10Bq/L	长半衰期衰变池	
⁹⁰ Y 患者排泄废液	液体	⁹⁰ Y	/	/	/	总 β <10Bq/L	短半衰期衰变池	衰变池达标后排放。
固体放射性废物（剩余药物、一次性物品和沾有放射性残液的注射器、棉签、废手套、口罩等）、废弃敷贴器	固体	^{99m} Tc ¹⁸ F ⁶⁸ Ga	/	/	30kg	β<0.8Bq/cm ²	暂存超过 30 天	分类、分别收集于放射性废物桶或专用容器中后，转移至废物库衰变贮存，达到清洁解控水平后当普通医疗废物处理；不能解控的放射性废物送交有资质的单位处理
		⁸⁹ Sr ¹⁵³ Sm ³² P	/	/		β<0.8Bq/cm ²	暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍	
		⁹⁰ Y	/	1kg	12kg			
		¹³¹ I	/	/	50kg	β<0.8Bq/cm ²	暂存超过 180 天	
废旧活性炭或碘吸附器及滤袋	固体	¹³¹ I、 ^{99m} Tc、 ¹⁸ F、 ³² P	/	/	2kg	β<0.8Bq/cm ²	/	
废弃/剩余粒籽源	固体	¹²⁵ I 粒籽源	/	/	/	/	专用铅罐	厂家回收处理
废旧 ⁹⁹ Mo（ ^{99m} Tc）发生器	固体	⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc	/	/	50 个	/	专用容器	
废旧 ⁶⁸ Ge（ ⁶⁸ Ga）发生器	固体	⁶⁸ Ge- ⁶⁸ Ga	/	/	2 个	/	专用容器	
报废的密封校准、质控放射源	固体	⁶⁸ Ge ²² Na	/	/	/	/	专用容器	厂家回收或交山西省放射性废物暂存库。
气态放射性废物	气体	¹³¹ I	/	/	/	/	/	经碘吸附过滤+活性炭装置，至医技急诊楼顶排放
	气体	^{99m} Tc ¹⁸ F、 ³² P	/	/	/	/	/	经高效活性炭过滤装置，至医技急诊楼顶排放

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/kg，气态为 mg/m³，固态为 kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	<p>(1) 《中华人民共和国放射性污染防治法》2003 年 10 月 1 日施行</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境保护法》2015 年 1 月 1 日施行修订版</p> <p>(3) 《中华人民共和国环境影响评价法》2018 年 12 月 29 日施行修订版</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》2017 年 10 月 1 日施行修订版</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》国务院 449 号令，2019 年 3 月 2 日修订实施</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》生态环境部第 20 号令，2021 年 1 月 8 日修订实施</p> <p>(7) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》环保部令第 18 号，2011 年 5 月 1 日修订实施</p> <p>(8) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》2021 年 1 月 1 日施行</p> <p>(9) 《射线装置分类》2017 年 12 月 5 日施行</p> <p>(10) 《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》，环发[2006]145 号，2006 年 9 月 26 日施行</p> <p>(11) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》，环办辐射函【2016】430 号</p> <p>(12) 《山西省环境保护条例》实施办法，2020 年 3 月 15 日起实施</p> <p>(13) 《山西省辐射事故应急预案》2021 年 3 月 1 日发布施行</p> <p>(14) 《大同市辐射事故应急预案》</p>
------	---

<p>技术标准</p>	<ul style="list-style-type: none"> (1) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002） (2) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005） (3) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010） (4) 《放射性核素摄入量及内照射剂量估算规范》（GB/T16148-2009） (5) 《表面污染测定 第一部分β发射体（$E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$）和α发射体》（GB/T14056.1-2008） (6) 《辐射环境保护管理导则—核技术利用建设项目环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016） (7) 《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021） (8) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021） (9) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021） (10) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020） (11) 《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）
<p>其他</p>	<ul style="list-style-type: none"> (1) 医院环境影响评价委托书； (2) 医院有关资质证明文件复印件； (3) 医院提供的本报告项目的图纸、防护工程设计等资料； (4) 辐射工作人员个人剂量检测报告； (5) 本项目周围环境现状检测报告。

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

根据本项目的特点并结合《辐射环境保护管理导则 核技术应用项目环境影响报告书（表）的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，确定本报告项目的评价范围为：新建核医学科场所（B2）半径 50m 的范围；新建介入科 2 个 DSA 室实体墙体外 50m 的范围。

7.2 保护目标

本项目医技急诊楼（B2）新建核医学科位于医技急诊楼 B2 层东北侧，核医学科场所西侧为补风机房、洗衣房和设备站房等，南侧为排风机房和机动车库。核医学科楼上 B1 层为中药库存储区、西药库存储区及病案库存储区，楼下 B3 层为放疗中心，直线加速器机房、后装机房、模拟定位机房等。

本项目新建 DSA 室位于医技急诊楼 5F 介入科西北侧，拟使用 2 台 DSA 设备。DSA1 室和 DSA2 室北侧为设备间、控制室、污物通道，西侧为医护走廊、无菌品库房、复苏室等，南侧为洁净走廊、缓冲间、护士站等，楼上为护士站、ICU 病房，楼下为抗生素药物配置区、清洁间、医护走廊等。

项目环境保护目标为新建辐射工作场所评价范围内的辐射职业人员、公众。

表 7-1 项目主要环境保护目标一览表

影响因素	核技术应用	保护目标	人数	位置	方位	距离（m）			
						垂直	水平		
辐射环境	核医学科（B2）	辐射工作人员	15	机房操作室	/	0	3.5		
				高活区	源室、手套箱等	0	0.3		
				注射窗口	注射室西侧	0	0.3		
				敷贴室	核医学科	0	1.0		
			8-12	B2 候诊区	高活区东侧	0	5.0		
			3-4	B2 洗衣房	核医学科场所西侧	0	15		
		公众	核医学科楼上	5-10	负三层放疗中心	核医学科楼下	6.9	0	
				5-7	负一层病案库存储区		6.9	0	
				5-15	一层 CT/核磁室		12.3	0	
				10-20	二层综合门诊		17.4	0	
				10-20	三层 B 超室		21.9	0	
				5-10	四层检验中心		26.4	0	
				5-10	五层心脑血管电室		30.9	0	
				5-15	六层 ICU 病房		35.4	0	
				5-15	七层 ICU 病房		39.5	0	
				10-20	外科住院楼		核医学科东侧	11-50	30-50
				10-20	临时食堂		核医学科北侧	11-50	27-50
				5-10	内科住院楼		核医学科北侧	11-50	42-50

表 7-1 项目主要环境保护目标一览表（续表）

影响因素	核技术应用	保护目标	人数	位置	方位	距离（m）		
						垂直	水平	
辐射环境	DSA 室（5F）	辐射工作人员	4	DSA 室手术台	手术医师及助手	0	0.5	
			2	控制室	机房北侧	0	4.5	
		公众	2	护士站	南侧		0	10
			5-15	六层 ICU 病房	DSA 室楼上		4.0	0
			5-15	七层 ICU 病房			8.0	0
			2-5	四层抗生素药物配置区等	DSA 室楼下		4.5	0
			5-10	三层内镜中心			9.0	0
			5-15	二层普放中心			13.5	0
			5-15	一层 CT/核磁室			18.6	0
			5-10	负一层总务库			14.0	0
			2-5	负二层洗衣区			20.9	0
			1-5	负三层停车场			27.8	0
			10-20	保健楼		DSA 室西侧	0-8	20-50
			10-18	临时食堂	DSA 室北侧	0-4	35-50	
			6-10	内科住院楼	DSA 室北侧	0-45	47-50	

7.3 评价标准

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）等，并按照辐射防护最优化原则，本项目职业人员、公众成员有效剂量约束值、相关周围剂量当量率等约束值见表 7-2。

表 7-2 年有效剂量约束值、周围剂量当量率等约束值

序号	场所	项目名称	评价指标		
1	核医学 科工作 场所	职业人员有效剂量约束值	$\leq 5\text{mSv/a}$		
		职业人员当量剂量（手部）约束值	$\leq 200\text{mSv/a}$		
		公众成员有效剂量约束值	$\leq 0.1\text{mSv/a}$		
		距核医学工作场所各控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率	$< 2.5\mu\text{Sv/h}$		
		距核医学工作场所各控制区内屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的区域，其外表面 30cm 处的周围剂量当量率	$< 10\mu\text{Sv/h}$		
		分装、通风柜、注射窗等设备外表面人员操作位周围剂量当量率	$< 2.5\mu\text{Sv/h}$		
		分装箱体非正对人员操作位表面周围剂量当量率	$< 25\mu\text{Sv/h}$		
		β 表面 污染	（工作台、设备、墙壁、地面）控制区	40Bq/cm^2	
			（工作台、设备、墙壁、地面）监督区	4.0Bq/cm^2	
			（工作服、手套、工作鞋）控制区	4.0Bq/cm^2	
			（工作服、手套、工作鞋）监督区	4.0Bq/cm^2	
			手、皮肤、内衣、工作袜	0.4Bq/cm^2	
			固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理： 所含核素半衰期小于 24 小时的（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F ）固体放射性废物暂存时间超过 30 天；所含核素半衰期大于 24 小时的（ ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{68}Ga 、 ^{90}Y ）暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 天。		
		固体放射 性废物	不能解控的固体放射性废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。		
			每袋废物（重量 $\leq 20\text{kg}$ ）表面剂量率	$\leq 0.1\text{mSv/h}$	
			废物包装体外表面污染水平	$\beta < 4\text{Bq/cm}^2$	
			^{18}F	可作非放射性废物处理	豁免活度浓度 $\leq 1 \times 10^4\text{Bq/kg}$
			$^{99\text{m}}\text{Tc}$	可作非放射性废物处理	豁免活度浓度 $\leq 1 \times 10^5\text{Bq/kg}$
			^{89}Sr	可作非放射性废物处理	豁免活度浓度 $\leq 1 \times 10^6\text{Bq/kg}$
			^{153}Sm	可作非放射性废物处理	豁免活度浓度 $\leq 1 \times 10^5\text{Bq/kg}$
^{32}P	可作非放射性废物处理		豁免活度浓度 $\leq 1 \times 10^6\text{Bq/kg}$		
^{90}Y	可作非放射性废物处理		豁免活度浓度 $\leq 1 \times 10^6\text{Bq/kg}$		
^{131}I	可作非放射性废物处理	豁免活度浓度 $\leq 1 \times 10^5\text{Bq/kg}$			

续表 7-2 年有效剂量约束值、周围剂量当量率等约束值

序号	场所	项目名称	评价指标		
1	核医学科工作场所	放射性废水	对于槽式衰变池贮存方式： a、所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放； b、关于槽式衰变池中含碘-131 放射性废水排放 含碘-131 放射性废水可按照下列任意一种方式进行排放： ①根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》第 8.6.2 条规定，经监管部门确认单次排入普通下水道的废水中碘-131 活度不超过 1ALI _{min} ，每月排放的废水中碘-131 总活度不超过 10ALI _{min} ； ②暂存 180 天后，衰变池废水可以直接排放； ③暂存不满 180 天但监测结果表明碘-131 活度浓度已降至不高于 10 贝可/升水平，也可直接排放。 对于推流式衰变池贮存方式： 所含核素半衰期大于 24 小时的，每年应对衰变池中的放射性废液进行监测，最长半衰期核素的放射性活度浓度应满足 18871 附录 A 表 A1 的要求。		
			¹⁸ F	一次排放活度不超过	1ALI _{min} (2.15×10 ⁸ Bq)
				月排放总活度不超过	10ALI _{min} (2.15×10 ⁹ Bq)
			^{99m} Tc	一次排放活度不超过	1ALI _{min} (8.62×10 ⁸ Bq)
				月排放总活度不超过	10ALI _{min} (8.62×10 ⁹ Bq)
			¹³¹ I	一次排放活度不超过	1ALI _{min} (9.09×10 ⁵ Bq)
				月排放总活度不超过	10ALI _{min} (9.09×10 ⁶ Bq)
			⁹⁰ Y	一次排放活度不超过	1ALI _{min} (7.41×10 ¹⁰ Bq)
				月排放总活度不超过	10ALI _{min} (7.41×10 ¹¹ Bq)
			⁶⁸ Ga	一次排放活度不超过	1ALI _{min} (2.00×10 ¹¹ Bq)
月排放总活度不超过	10ALI _{min} (2.00×10 ¹² Bq)				
总β放射性(三级槽式衰变池出口)		≤10Bq/L			
患者出院时体内放射性活度要求		⁹⁰ Y≤2500MBq； ¹³¹ I≤400MBq ³² P≤800MBq； ⁸⁹ Sr≤200MBq ¹⁵³ Sm≤2500MBq			
2	II类射线装置使用场所	职业人员剂量约束值	手术医师有效剂量	≤5mSv/a	
			手术医师当量剂量	≤200mSv/a (四肢)	
			控制室操作人员	≤2mSv/a	
		公众成员有效剂量约束值		≤0.1mSv/a	
具有透视功能的 X 射线机在透视条件下检测时，周围剂量当量率		<2.5μSv/h			

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目所在的地理位置

大同市第三人民医院位于山西省大同市城区，东临魏都大道，南临文昌街，西临云新小区和圆中园小区，北临迎宾街。

医院院区东侧由北至南依次为：门诊楼、急诊楼和外科住院楼，西侧由北至南依次为：内科住院楼、临时食堂，院区南侧为新建医技急诊楼（地上 7 层、地下 3 层建筑）。

新建医技急诊楼位于医院南侧，“刀把”型建筑，地上 7 层、地下 3 层，其北侧为临时食堂和院区道路，南侧为医院南墙和南门，西侧为保健楼，东侧为外科住院楼。本项目新建两个核医学工作场所分别位于医技急诊楼（B2）东北侧、医技急诊楼（5F）介入科 DSA1 室；新建介入科 2 个 DSA 室位于医技急诊楼（5F）西北侧。

8.2 评价区辐射环境质量现状监测

为了解本报告项目评价区域的辐射环境质量，委托山西贝可勒环境检测有限公司对本次评价的工作场所进行环境 γ 辐射监测，检测报告见附件 8。

8.2.1 监测内容

评价区域内环境 γ 辐射剂量率。

8.2.2 监测方法

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）

8.2.3 监测仪器

表 8-1 监测仪器信息表

检测仪器	型号	量程	能量响应	检定证书编号	有效期至
辐射剂量率仪	BY211D	0.01 μ Gy/h—1mGy/h	25keV-3MeV	检字第【2022】 -LA062	2023 年 6 月 6 日

8.2.4 监测布点

本报告项目新建医技、急诊楼周边 50m 内区域布设环境 γ 辐射监测点位。

8.2.5 质量保证措施

- （1）委托的检测机构具备与所从事检测业务相适应的能力和条件；
- （2）使用的仪器经法定部门检定，并在有效期内使用；
- （3）监测点位在现场标志性特征物拍照备案，保证点位的可重现性；
- （4）每点监测 10 次，均值经仪器校准因子修正后作为该点监测数据；
- （5）现场检测 2 名检测人员，经培训合格持证上岗。

8.2.6 周围环境 γ 辐射空气吸收剂量率监测结果

按照 HJ61-2021 的规定要求布点监测，每个点读取 10 个数据，计算平均值，并以附录 D 的方法计算大同市第三人民医院宇宙射线响应值：33nGy/h（BY211D），扣除宇宙射线响应值，作为该监测点的剂量率评价值。

表 8-2 本项目周围环境 γ 辐射剂量率监测结果

序号	监测点位描述	扣除宇宙射线后 (μ Gy/h)
1	患者候诊区	0.06
2	高活区 1	0.06
3	高活区 2	0.07
4	PET 注射室	0.07
5	SPECT 注射室	0.06
6	抢救室/运动负荷室	0.07
7	储源 1 室	0.07
8	污物间 1	0.06
9	粒子装载室	0.07
10	发生器室	0.07
11	锞镓发生器室	0.06
12	分装室	0.06
13	污物暂存间 2	0.07
14	SPECT 注射后候诊室 1	0.07
15	SPECT 留观室 1	0.07
16	125I 植入专用病房	0.06
17	90Y 患者专用病房	0.07
18	服药病人通道 1	0.07
19	敷贴制备间	0.05
20	质控室	0.07
21	PET 注射候诊室 2	0.07
22	PET/CT 室	0.06
23	PET/MR 室	0.07
24	PET 控制室	0.07
25	PET 留观室	0.07
26	病人出院通道	0.07
27	服药病人通道 2	0.07
28	SPECT 注射后候诊室 2	0.07
29	SPECT/CT 检查 1 室	0.07
30	SPECT/CT 检查 2 室	0.06
31	SPECT 控制室	0.07
32	SPECT 留观室 2	0.07
33	甲亢病房	0.07
34	医护走廊	0.07
35	病人通道 3	0.07
36	护士值班监控室	0.07
37	自动分装室	0.07

表 8-2 本项目周围环境 γ 辐射剂量率监测结果（续表）

序号	监测点位描述	扣除宇宙射线后 ($\mu\text{Gy/h}$)
38	甲癌病房 1	0.07
39	甲癌病房 3	0.07
40	甲癌病房 5	0.07
41	医生值班	0.07
42	主任室	0.07
43	医生办公室	0.06
44	电梯间	0.07
45	患者电梯间	0.07
46	核医学科楼上（西药存储间）	0.07
47	核医学科楼上（病案储存间）	0.07
48	核医学科楼上（通道）	0.06
49	核医学科楼上（药品库房）	0.07
50	核医学科楼上（办公室）	0.07
51	核医学科楼上（停车位）	0.07
52	核医学科楼下（预留房间）	0.07
53	核医学科楼下（示教室）	0.07
54	核医学科楼下（检测实验室）	0.07
55	核医学科楼下（模拟 CT 室）	0.07
56	核医学科楼下（候诊区）	0.07
57	核医学科楼下（加速器准备室）	0.06
58	核医学科楼下（加速器机房）	0.07
59	核医学科楼下（后装机房）	0.07
60	核医学科楼下（停车位）	0.07
61	导管 1 室	0.07
62	导管 2 室	0.07
63	控制室	0.07
64	病人通道	0.07
65	洁净走廊	0.07
66	医护走廊	0.07
67	污物通道	0.07
68	无菌品室	0.06
69	护士站	0.07
70	换床间	0.07
71	导管室楼上（ICU 病房）	0.07
72	导管室楼下（药品配置间）	0.07
73	在建医技、急诊楼东侧 5m（外科住院楼）	0.06
74	在建医技、急诊楼南侧 1m	0.05
75	在建医技、急诊楼西侧 1m	0.05
76	在建医技、急诊楼北侧 1m	0.05
77	在建医技、急诊楼北侧 10m（内科住院楼）	0.06
78	在建医技、急诊楼西侧 3m（保健楼）	0.05
79	在建医技、急诊楼东侧 10m（空地）	0.05

8.3 土壤环境现状监测

为了解本项目评价区域的土壤环境放射性情况，大同市第三人民医院委托中国辐射防护研究院核工业太原环境分析测试中心对本项目周围土壤环境进行检测，检测报告见附件 8。

8.3.1 监测内容

评价区域内土壤环境中总 α 、总 β 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 、 ^{153}Sm 和 ^{68}Ga 含量。

8.3.2 监测方法

《水中总 α 放射性浓度的测定 厚源法》EJ/T 1075-1998；

《水中总 β 放射性测定 蒸发法》EJ/T 900-1994；

《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》GB/T 11743-2013；

《高能锗 γ 能谱分析通用方法》GB/T 11713-2015。

8.3.3 土壤环境监测结果

经检测，检测结果如下：

表 8-3 土壤环境检测分析结果表 (Bq/kg)

总 α	总 β	^{125}I	^{131}I	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{18}F	^{153}Sm	^{68}Ga
336	718	<35	<0.56	<0.42	<0.53	<1.9	<20

8.4 辐射环境质量现状

经检测，本项目环境 γ 辐射剂量率监测值在 (0.05~0.07) $\mu\text{Gy/h}$ 之间，属于大同市天然贯穿辐射剂量率 (0.0417~0.0752) $\mu\text{Gy/h}$ ，(数据来源《中国环境天然放射性水平》2015 年 7 月，中国原子能出版社)，属于大同市正常的天然辐射本底水平。

评价范围内取土样，经检测采样土壤中总 α 为 336Bq/kg、总 β 为 718Bq/kg，土壤中 ^{125}I 、 ^{153}Sm 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 核素放射性均低于样品中放射性核素活度浓度探测限。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工艺分析

医院医技、急诊楼主体工程已进行环评，本项目为新建医技急诊楼 B2 核医学科和 5F 介入科 2 个 DSA 室的辐射防护工程、内部装修及设备设施的安装调试等，施工期主要污染物有：噪声、少量扬尘、施工废水、建筑垃圾及包装废弃物等。

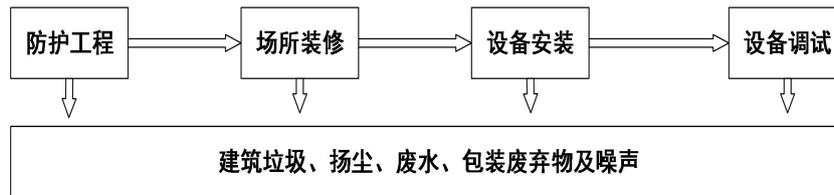


图 9-1 施工期工艺流程及产污环节

该项目各场所的建设属于医院医技急诊楼项目的一部分，其施工期对环境的影响已在该院新建医技急诊楼项目的环境影响报告表中进行了评价，本次评价不再对其进行详细影响分析。

(1) 噪声

本项目施工期施工内容主要在室内进行，施工噪声主要为机房屏蔽施工、室内装修等过程产生的装修设备噪声，这些噪声源噪声值在 75~90dB(A)之间。为避免噪声影响医院正常工作，施工期时间定为晚 7:00~次日早 6:00。

(2) 扬尘

本项目施工活动对环境空气的主要影响表现为粉尘。各功能房间屏蔽施工和装修等施工过程中，材料的搬运、刮家、打磨及场地清理过程中将会产生一定的粉尘污染。应依次对局部施工，减少对周围环境的影响。

(3) 废水

主要为施工人员产生的少量生活污水，生活污水经医院排污水管道排至医院污水处理系统处置，对周围环境影响较小。

(4) 固体废物

主要为建筑垃圾、装修垃圾以及施工人员产生的生活垃圾。施工人员生活垃圾由环卫部门统一处置，建筑垃圾送合法的建筑垃圾堆放场处置。

9.2 本项目拟开展核素运营期工艺分析

本项目医技急诊楼 B2 新建核医学科工作场所计划使用 9 种放射性核素。

9.2.1 应用 ^{99m}Tc 标记药物在 SPECT 下开展显像诊断

(1) 工作原理

^{99m}Tc 标记的溶液以化合物形态存在，用生理盐水从 ^{99}Mo (^{99m}Tc) 发生器中洗脱出来，处于激发状态的 ^{99m}Tc 放出 0.141MeV 的 γ 射线后跃迁为 ^{99}Tc 。 ^{99m}Tc 、 ^{99}Tc 同属低毒组核素。 ^{99m}Tc 可以口服，可以静脉注射。 ^{99m}Tc 标记的某些化合物或络合物，其化学性质各不相同，可以选择性地分布于不同的组织和器官里。正因为这个原因，治疗前才采用 ^{99m}Tc 的标记物来进行肝、肾、肺、心、脾、淋巴、骨髓、脑池、脊髓、骨骼等器官的显影以及炎症、肿瘤等病理定位。

(2) ^{99m}Tc 标记药物的获得及操作流程

^{99m}Tc 半衰期较短为 6.02h，由 ^{99}Mo (^{99m}Tc) 发生器淋洗获得， ^{99}Mo (^{99m}Tc) 发生器外购登记后贮存于发生器室，在分装质控手套箱中淋洗、标记，在 SPECT 注射窗口为预约患者进行注射，患者在 SPECT 诊疗区域留观或候诊，随后进入 SPECT/CT 检查室显像诊断，经医生批准许可后离院。

新建核医学科 (B2) 计划最大接诊患者 10 人/日，患者用药量为 740MBq/人 (20mCi)，每周购置 1 柱 $1.11 \times 10^{10}\text{Bq}$ (300mCi) ^{99}Mo (^{99m}Tc) 发生器，按 ^{99}Mo (^{99m}Tc) 发生器淋洗率 90% 计算，可淋洗 ^{99m}Tc 药物 $0.999 \times 10^{10}\text{Bq}$ ，可以满足常规患者 $7.4 \times 10^9\text{Bq}$ 和 ^{90}Y 患者模拟输注 $1.5 \times 10^8\text{Bq}$ (共计 $0.755 \times 10^{10}\text{Bq}$) 的用量， ^{99}Mo 半衰期为 2.75d，会产生 γ 和 β 射线。

^{99}Mo (^{99m}Tc) 发生器淋洗流程如下：打开 ^{99}Mo (^{99m}Tc) 发生器顶部的铅屏蔽盖，在发生器的一端插上生理盐水瓶，另一端插上真空瓶，通过负压作用，能淋洗出 ^{99m}Tc 标记液，经过标记、分装等质控后，供病人静脉注射，核素 ^{99m}Tc 产生 γ 射线。

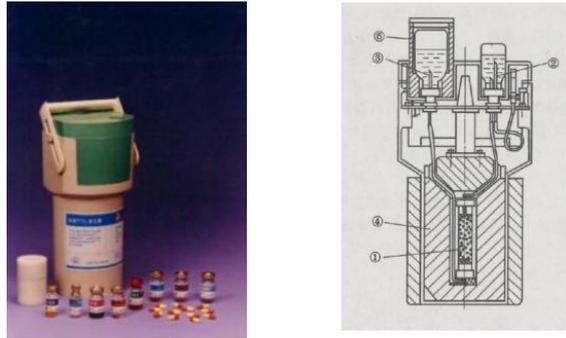


图 9-2 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器

(3) 注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物的病人在 SPECT/CT 下做显像诊断

SPECT/CT 是一种利用放射性核素的检查方法。SPECT 成像的基本原理：放射性药物引入人体，经代谢后在脏器内外或病变部位和正常组织之间形成放射性浓度差异，将探测到这些差异，通过计算机处理再成像。SPECT 成像是一种具有较高特异性的功能显像和分子显像，除显示结构外，注重提供脏器与病变组织的功能信息。SPECT 的显像方式十分灵活，能进行平面显像和断层显像、静态显像和动态显像、局部显像和全身显像。CT 则是利用体外的 X 射线穿透人体而获得三维解剖图像的断层成像技术。SPECT/CT 是一台将 CT 扫描仪和 SPECT 显像仪同时安装在同一个机壳里的多模态影像摄影装置，它在检查时可以一次获得反映精细解剖结构的 CT 扫描信息及反映功能代谢的 SPECT 影像，或复合型 SPECT/CT 融合显像。

新建核医学科拟使用 2 台 SPECT/CT，SPECT/CT 显像使用的核素为： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，整个工作流程图见下图：

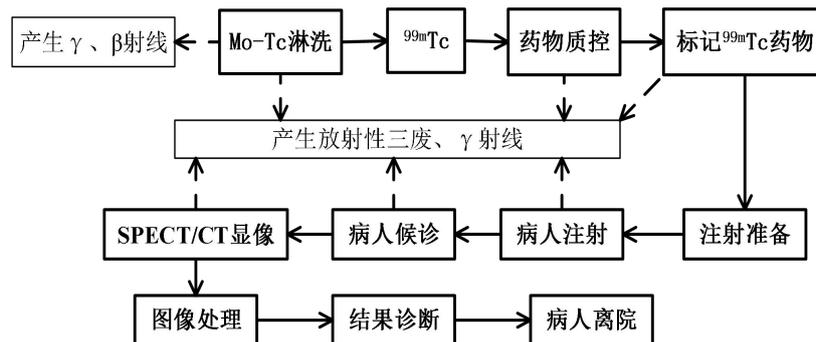


图 9-3 注射 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记药物在 SPECT/CT 下开展显像诊断流程图

(4) 产污环节

^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器会产生 γ 和 β 射线， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 是一种纯 γ 核素，进行标记、分装及注射后的病人均有 γ 外照射，注射药物会对工作台面等造成表面污染。因此，污染因子包括 γ 和 β 射线和表面污染。

9.2.2 应用 ^{18}F 和 ^{68}Ga 标记药物在 PET 下开展显像诊断

(1) 工作原理

^{18}F 是一种人工核素，半衰期为 109.8min，在医学上，一般由回旋加速器产生，主要用于正电子发射断层显像，将 ^{18}F 引入到葡萄糖或者药物分子中，到达靶点后，在人体内衰变产生正电子，进而放出 γ 射线（0.511MeV）， γ 射线能穿透人体皮肤组织被探测器探测到，可以作为肿瘤的诊断方法。 ^{18}F 易挥发，须在手套箱中进行操作。

正电子核素 ^{68}Ga 是一种新型正电子发射断层显像（PET）标记剂，在 PET 显像中的应用仅次于 ^{18}F ，在临床诊断中应用越来越广泛。 ^{68}Ga 为 ^{68}Ge （ ^{68}Ga ）发生器生产，在锗镓发生器中母体 ^{68}Ge 由加速器生成，通过电子俘获衰变，半衰期为 270.8d，能供应生产 ^{68}Ga 约半年，具体流程包括发生器淋洗、洗脱液的浓缩纯化。生成的 ^{68}Ga 标记方法主要有直接标记和螯合介导标记，直接标记仅限于某些特定大分子蛋白质，螯合剂配体有链状配体、大环配体等。 ^{68}Ga 半衰期为 68min，正电子衰变率为 89%，简单的化学标记性质以及便于药盒化，适合标记能够在体内快速分布并到达靶点的小分子，在静脉注射 1 小时左右获得高质量的图像，较短半衰期有效降低了病人承受的辐照剂量，也有足够的制备时间。

(2) 操作流程

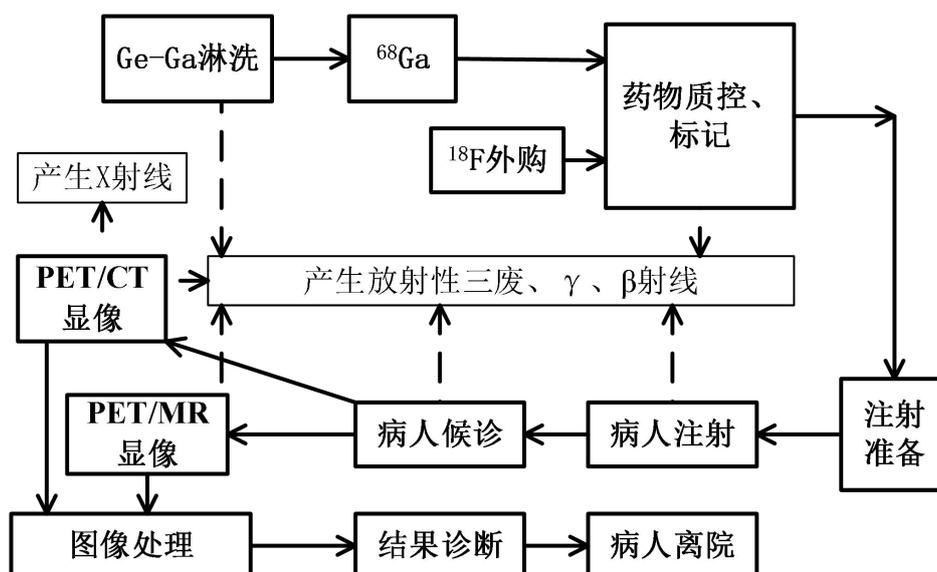


图 9-3 注射 $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga}$ 标记药物在 PET 下开展显像诊断流程图

新建核医学科拟使用的 PET/CT 设备具有 CT 功能，属于 III 类射线装置，PET/MR 为正电子磁共振发射断层显像设备。

(3) 产污环节

^{68}Ge (^{68}Ga) 发生器会产生 γ 和 β 射线, ^{18}F 和 ^{68}Ga 是一种正电子核素, 注射后的病人均伴有 γ 射线产生, 药物制备和注射会对工作台面等造成表面污染。因此, 污染因子包括 γ 和 β 射线和表面污染。PET/CT 在 CT 功能开启下, 会产生 X 射线。

(4) 刻度/校准放射源

本项目使用的 PET/CT 和 PET/MR 各配备 2 枚 V 类放射源 ^{68}Ge 作为设备校准源。

9.2.3 应用 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 治疗肿瘤骨转移

(1) 工作原理

^{89}Sr 利用机体内能高度选择地聚集在病变组织的化合物作为载体, 将放射性核素靶运送到病变组织或细胞, 使放射性核素与病变细胞紧密结合。根据当距辐射源的距离增大、来自源的辐射强度随距离平方值增长而减小的原理, 使得辐射剂量主要集中在病灶内, 而在比较远处的正常健康细胞得到较低的、不太会引起损伤的剂量。

^{89}Sr 属中毒组核素, 半衰期 50.5d, 发射单纯的 β 射线, 最大能量为 1.49MeV, 平均能量 0.58MeV, 静脉注射后用于治疗多发性骨肿瘤患者的骨性疼痛。

^{153}Sm 属中毒组核素, 半衰期 46.5h, 发射 γ 和 β 射线, γ 最大能量为 0.103MeV, 其制成药物具有很好的亲肿瘤和亲骨性, 静脉注射后用于治疗多发性骨肿瘤患者, 减缓骨疼痛。

(2) 治疗流程

^{89}Sr 和 ^{153}Sm 为液态, 预约式定人定量直接外购成品, 分装标记, 通过静脉注射进入病人体内, 属于简单操作。通常病人最大药量为 ^{89}Sr : 148MBq 和 ^{153}Sm : 1850MBq, 单次药量低于标准规定的病人体内放射性核素活度出院限值分别为 $^{89}\text{Sr} \leq 200\text{MBq}$ 和 $^{153}\text{Sm} \leq 2500\text{MBq}$, 病人可直接离院, 故本次评价不考虑其辐射环境和放射性废液排放。

(3) 产污环节

^{89}Sr 发射 β 射线, ^{153}Sm 发射 γ 和 β 射线, 医生注射时, 不可避免的会对工作台、地面、手套等造成放射性 β 表面沾污, 主要污染因子为 γ 、 β 射线、韧致辐射和表面污染。

9.2.4 应用 ^{131}I 治疗甲亢和甲癌

(1) 工作原理

①治疗甲癌原理: 术后残留的甲状腺组织、分化型甲癌的复发灶或者转移灶仍然能摄取并集聚一定量的碘, 利用放射性核素 ^{131}I 在其自发核衰变时发出的 β 射线, 杀死残留部位和转移病灶甲癌细胞, 达到治疗的目的。

②治疗甲亢原理：甲状腺具有特异性浓集碘的功能，利用 ^{131}I 发出的 β 射线，使甲状腺组织受到长时间的集中照射，其腺体被破坏后逐渐坏死，代之以无功能的组织，降低甲状腺的分泌功能，从而使甲状腺激素的合成减少，达到控制甲亢的目的。

(2) 操作流程

医生通过电脑控制将蒸馏水注入自动分装箱中对购买的 ^{131}I 液态核素进行稀释，然后通过电脑控制自动检测活度，制备合格的药物溶液，医生通过视频、对讲设施指导病人自助服药，甲癌病人服药之后进入甲癌留观室或病房，当病人体内的放射性活度降至 400MBq 以下或距离病人 1m 处周围当量剂量不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ 方可出院；甲亢病人服药后通过出院第一道门禁进入甲亢留观室短暂留观后，经医生许可后离院。

核素 ^{131}I 治疗过程中均通过自动控制完成，病人和医师不接触，甲癌病人住院期间实行严格管理，与甲亢患者虽然共用病人通道，但是可以避免接触。核素 ^{131}I 自动分装箱设置独立通风装置和碘吸附器进行过滤净化，病房和留观室设置独立卫生间和通风装置。 ^{131}I 治疗通过患者口服进入体内，属简单操作。每人单次最大剂量：甲亢 15mCi ，甲癌 150mCi 。

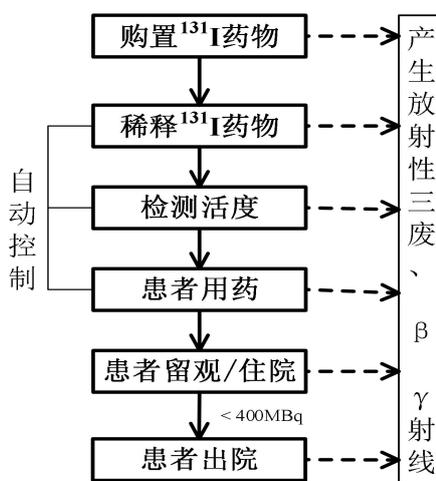


图 9-4 ^{131}I 治疗甲亢和甲癌患者服药治疗流程图

(3) 产污环节

^{131}I 衰变过程中，有 β 和 γ 射线，其中 γ 射线是主要的污染因子。 ^{131}I 的稀释给药为自动过程，医护人员隔室操作，不直接接触药物，但患者服药时会产生残液滴洒，造成 β 表面沾污；患者服药后，会产生含放射性的排泄物和自身 γ 射线。由于 ^{131}I 在常温下易挥发，产生放射性气体，一般在密封分装箱内进行稀释，安装了碘吸附过滤器，并独立排风，同时会产生固体放射性废物（服药用一次性杯子等）。

9.2.5 应用 ^{32}P 进行敷贴治疗

^{32}P 用于治疗血管瘤、瘢痕等。医院计划自制敷贴器进行敷贴治疗。

(1) 工作原理

核素 ^{32}P 发射 β 射线，将 ^{32}P 均匀地吸附于滤纸或铝箔上，按病变形状和大小制成专用的敷贴器，把敷贴器紧贴于病变的表面，对表浅病变进行外照射治疗。某些病变对 β 射线较敏感，经电离辐射作用，微血管发生萎缩、闭塞等退行性改变，病变处经照射后引起局部血管渗透性改变、白细胞增加和吞噬作用增强而获得治愈；增生性病变经辐照后细胞分裂速度变慢使病变得以控制，从而可达到治疗目的。

^{32}P 是一种纯 β 辐射体， β 粒子能量最大为 1.711MeV，平均能量为 0.695MeV。

(2) 自制敷贴器的治疗流程

①根据病变性质和病变部位确定自制敷贴器的处方剂量和面积形状。

②按照病灶形状大小裁剪滤纸，将处方剂量的 ^{32}P 放射性核素均匀滴在滤纸上，然后烘干、密封而成。 ^{32}P 敷贴器的制作间，其墙壁、地面及工作台面应铺易去除污染的铺料。 ^{32}P 敷贴器制作时在手套箱内操作，制作者戴乳胶手套。

③实施治疗前，进行详细登记信息，包括患者信息和敷贴器信息，收回患者治疗卡；治疗时，由医护人员操作，在不接触患者或受检者皮肤的一面用不小于 3mm 厚的橡皮覆盖屏蔽；具备条件的可利用特制工具操作；治疗完毕，再发放治疗卡，并严格规范治疗流程，同时告知患者治疗结束后不可随意丢弃敷贴器，治疗结束需返回医院交给主管核医学科医务人员保管。

④患者治疗完成后离院。

(3) 产污环节

^{32}P 只发射 β 射线，医护人员在制作敷贴器和为患者治疗时，会在工作台面、手部或操作工具等产生表面沾污，治疗后废弃的敷贴器收集于专用废物桶，按照固体放射性废物进行贮存、衰变和处置。 β 射线外照射通过适当屏蔽措施后，可忽略。

9.2.6 应用 ^{125}I 粒籽源在 CT 的导入下治疗癌症

(1) ^{125}I 粒籽源物理特性

^{125}I 粒籽源内置全杆标记 ^{125}I 同位素的靶丝，外壳为高密度钛合金管，粒子采用激光焊接使之完全密封，结构见示意图 9-4。

^{125}I 粒籽源结构：外包壳材料钛管外径 0.8mm，长度 4.5mm，壁厚 0.05mm，内核材

料银丝尺寸 $\phi 0.5 \times 3\text{mm}$ ，银丝表层镀有 ^{125}I 同位素。

^{125}I 属于中毒组核素，衰变方式是轨道电子俘获，主要有 355keV γ 射线和能量分别为 27.4keV 和 31.4keV 的 X 射线。

(2) ^{125}I 粒籽源工作原理

^{125}I 粒籽源是一种先进的人体内永久植入放射性粒子的治疗方法，方法是将 ^{125}I 粒籽源直接植入肿瘤内或可能受肿瘤侵犯的组织内，也可以植入到肿瘤转移的淋巴道或淋巴结内，通过粒籽源发射的低能 γ 射线对肿瘤组织接受近距离的持续照射，并避免放疗对周围正常组织损伤的副作用，从而达到治疗和缓解症状的目的。

^{125}I 粒子植入手术需借助 CT，采用外科手术或器械方法在病人身上放置粒籽源。

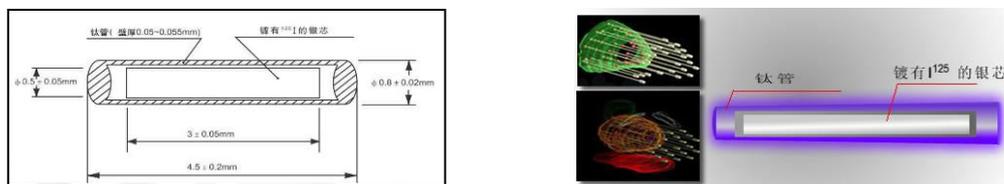


图 9-5 ^{125}I 粒籽源结构示意图

(3) 治疗流程

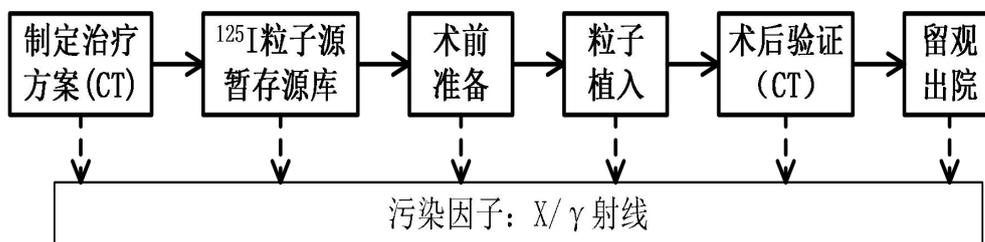


图 9-6 ^{125}I 粒籽源治疗流程图

(4) 产污环节

- A、准备 ^{125}I 粒籽源植入枪和弹夹、植入手术时，产生固体放射性废物和 X/ γ 射线。
- B、在 CT 机工作时，产生 X 射线。

9.2.7 应用 ^{90}Y 树脂微球进行肿瘤治疗

(1) 工作原理

^{90}Y 是一种放射性同位素，发射纯 β 射线，半衰期 64.1 小时，最大能量 2.284MeV ，平均能量 0.935MeV ，射程：空气 835cm ，有机玻璃 0.93cm ，人体组织 1.1cm 。

^{90}Y 树脂微球是通过化学方法从 ^{90}Sr - ^{90}Y 中提取，将其离子键结合在树脂微球上制成的微小颗粒，药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有 ^{90}Y 放射性核素的

颗粒注入肿瘤血管，使 ^{90}Y 滞留于肿瘤组织内达到足够剂量杀死肿瘤细胞，此微球具有不能通过毛细血管网，且不被巨噬细胞吞噬、生物相容性好、无毒的特点。

^{90}Y 树脂微球是一款靶向放射治疗产品，被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量 β 射线起到杀死癌症细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织。被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌，包括结直肠癌肝脏转移癌症、原发性肝癌、胆管癌、神经内分泌细胞瘤、乳腺癌肝脏转移癌症等。

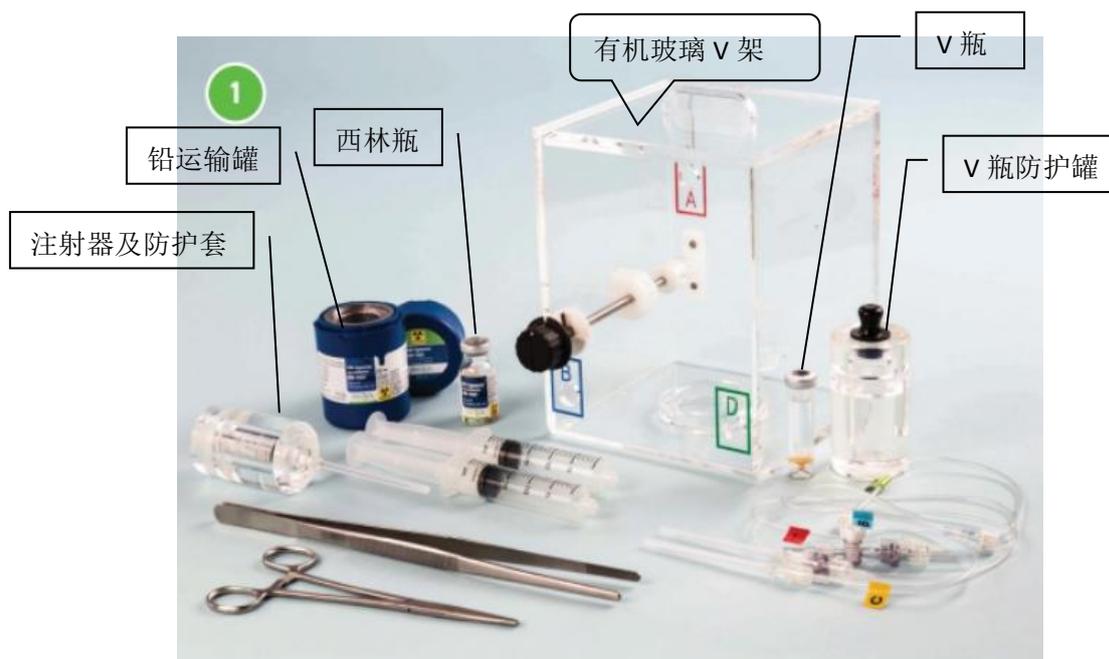


图 9-7 ^{90}Y 树脂微球介入注射相关配套设备

(2) 治疗流程

^{90}Y 树脂微球以介入治疗形式进行，治疗过程分两个阶段：第一，使用 $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 进行患者模拟输注，随后在 B2 核医学科 SPECT/CT 室 1 扫描显影，评估药物分布并确定患者个体化处方剂量。第二，在核医学科进行 ^{90}Y 树脂微球的抽取和剂量准备，在介入科 DSA1 室 (5F) 完成介入输注，注射 ^{90}Y 患者在 B2 核医学科专用病房进行留院/住院。

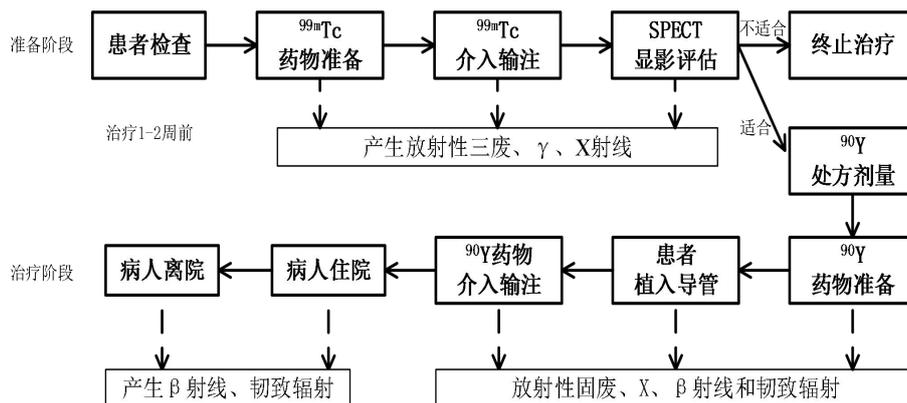


图 9-8 ^{90}Y 树脂微球植精准介入注射流程

(3) 产污环节

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发射 γ 射线，进行 DSA 介入模拟输注步骤会产生 γ 、X 射线、表面污染和放射性三废； ^{90}Y 发射 β 射线，进行 ^{90}Y 树脂微球介入治疗步骤会产生 X、 β 射线、韧致辐射、表面污染和固体放射性废物；患者留观/住院期间会产生 β 射线、韧致辐射和含有放射性核素的排泄物。

9.3 新建核医学科产生的放射性三废

(1) 固体放射性废物

新建核医学科主要产生的固体放射性废物和去向见下表：

表 9-1 固体放射性废物产生量及去向

固体放射性废物	产生量	处理措施
剩余药物、去污使用的一次性物品和沾有放射性残液的注射器、分装瓶、棉签、工作人员操作使用过的手套、口罩、废弃敷贴器等	92kg/a	分类收集和分别处理的原则，贮存于本区域的放射性废物容器中，装满后密封，并转运至核医学科废物间暂存，达到解控水平后作为医疗废物处理；不能解控的废物按照相关规定进行收集、整备，并送交有资质的单位处理。
废活性炭或碘吸附器及滤袋	2kg/a	
剩余及废弃粒籽源	/	放入专用铅罐内，由厂家回收处理。
废 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器	50 个/a	由厂家回收处理。
废 ^{68}Ge (^{68}Ga) 发生器	2 个/a	由厂家回收处理。
报废的密封校准、质控放射源	/	厂家回收或交山西省放射性废物暂存库。

(2) 放射性废水

核医学科的衰变池主要用于收集服药后患者在候诊、留观室和各病房的专用卫生间排泄废水、医护人员操作放射性药物后清洁废水及放射性滴洒废液的清洗废水，也用于收集事故应急时清洗产生的放射性废液。

衰变池建设于医技急诊楼北侧室外的空地下，根据核素半衰期的不同，设置 2 座独立的室外衰变池，容积分别为 266.4m³ 及 28.5m³，前端各设置有化粪池（沉淀池），排水口预设采样口。长半衰期衰变池主要收集含核素 ¹³¹I 的放射性废液，短半衰期衰变池主要收集含其他核素的放射性废液。长半衰期衰变池采用三级槽式衰变工艺，短半衰期衰变池采用三级推流式衰变工艺，设置有检测池，检测达标后排入医院废水管网。

患者注射或服药过程无放射性废水产生，注射洒落废液采用纸巾擦拭，收集于废物桶，按固体放射性废物处理。

⁹⁰Y 治疗患者留观/住院期间排泄物放射性核素含量很小，低于标准要求的限值和豁免浓度。专用病房设置在 B2 核医学科场所内西侧，设置了专用卫生间，患者排泄废液排入短半衰期衰变池。

新建核医学科拟配备辐射工作人员共 24 人，其中进行放射性药物操作医护人员 4 人，含放射性废水全部排入本项目衰变池；介入科 DSA 室共配备辐射工作人员 8 人，每台手术排班 4 人 ⁹⁰Y 病房中病人排水排入衰变池。

（3）气态污染物

新建核医学科使用的核素中 ^{99m}Tc 的淋洗、分装、标记工作在发生器室手套箱中进行；使用 ⁶⁸Ge（⁶⁸Ga）发生器生产放射性药物 ⁶⁸Ga，⁶⁸Ga 的制备和分装在锗镓发生器室手套箱中进行；¹⁸F、⁸⁹Sr 和 ¹⁵³Sm 的分装、标记在分装室手套箱中进行；敷贴药品的制备在敷贴制备间手套箱中进行；非密封放射性药品的质控在质控室手套箱中进行；核素 ¹³¹I 的分装、质控和标记在碘自动分装手套箱中进行。6 个手套箱采用独立的通风系统，手套箱顶壁安装高效活性炭净化过滤装置（¹³¹I 自动分装手套箱安装碘吸附装置和活性炭过滤装置）。各手套箱支管均安装止回阀，采用专用排风管线引至核医学科东南侧预留风井，最终在新建医技急诊楼楼顶东侧排放至大气环境。

新建核医学科控制区各功能房间还设置了 4 套排风系统，主要有 PET/CT 诊疗区、SPECT/CT 诊疗区、I 治疗区和甲癌病房区。各排风支管接入主管前安装止回阀，排风主管安装高效活性炭过滤装置，排风气流方向采用从低活区向高活区的方向，4 个排风主管道通过核医学科（B2）西侧排风井内引至新建医技急诊楼楼顶西部排放至大气环境。

新建核医学科的活性区和非活性区均拟设置新风系统。

9.4 血管造影机（DSA）运营期工艺分析

9.4.1 DSA 工作原理

DSA 的基本原理是先后将没有注入造影剂和注入造影剂后通过人体 X 线信号进行成像，分别经影像增强器增益后，再用高分辨率的电视摄像管扫描，将图像分割成许多的小方格，做成矩阵化，形成由小方格中的像素所组成的视频图像，经对数增幅和模/数转换为不同数值的数字，形成数字图像并分别存储起来，然后输入电子计算机处理并将两幅图像的数字信息相减，获得的不同数值的差值信号，再经对比度增强和数/模转换成普通的模拟信号，获得了去除骨骼、肌肉和其它软组织，只留下单纯血管影像的减影图像，通过显示器显示出来。通过 DSA 处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

9.4.2 DSA 系统组成

DSA 系统主要由 Gantry、专业手术床及 Atlas 机柜组成。

(1) Gantry，俗称“机架”或“C”型臂”，由“L”臂、PIVOT、“C”臂组成，同时还包括了数字平板探测器、球管、束光器等部件。Gantry 的机械运动由床旁控制器控制，如机架各方向旋转、探测器的上下运动。

(2) 专业手术床，通过床旁控制器控制床的上下升降，以及前后、左右的水平移动。在手术床的下方，安装有 Detector Power Supply，它是为数字平板探测器提供 5 组直流电压，从而使数字平板能够正常工作。

以上两个大部件都是由 Position 机柜总体控制，控制运动的电路板、交/直流电源、继电器等电路元器件都在该机柜中。

(4) Atlas 机柜，该机柜由 DL(Digital Leader，它从 RTAC 接收“干净”的图像，存储并显示在监视器上，DL 用过算法对图像进行处理并允许用户浏览病人信息，回放图像，通过 DICOM 传输协议传到网络上，如支持 DICOM 的打印机、PACS 系统、图像后处理工作站等设备)、RTAC (Real Time Acquisition Controller，获取并预处理图像，然后发送给 DL；通过控制病人接收剂量优化图像质量)、JEDI (发生器，控制球管的曝光) 构成。

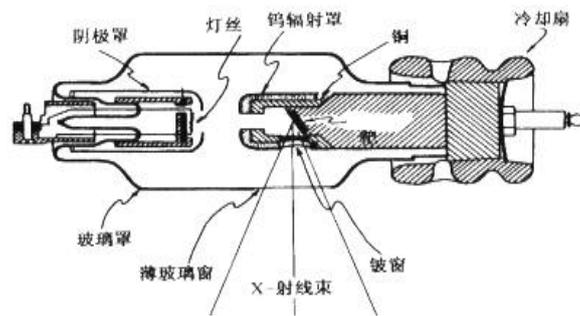


图 9-9 典型 X 射线管结构图

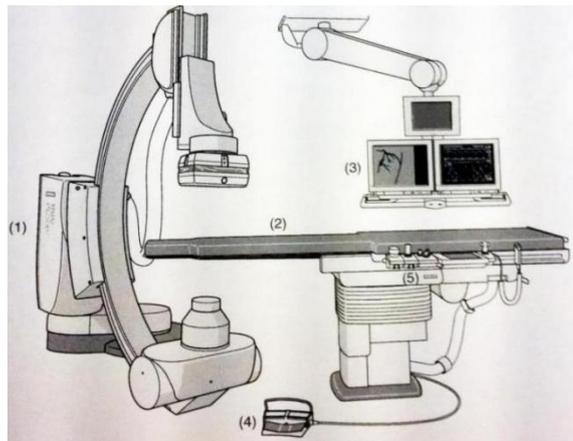


图 9-10 DSA 组成示意图

说明：(1)带有 C 臂、X 线球管装置以及 FD 的支架；(2)检查床；(3)带有 LCD 显示器和数据显示器的显示器天花板悬吊系统；(4)用于射线触发的脚闸；(5)用于控制支架、检查床以及成像系统的控制台。

9.4.3 DSA 工作流程

诊疗时，患者仰卧并进行无菌消毒，局部麻醉后，经皮穿刺静脉，送入引导钢丝及扩张管与外鞘，退出钢丝及扩张管将外鞘保留于静脉内，经鞘插入导管，推送导管，在 X 线透视下将导管送达上腔静脉，顺序取血测定静、动脉，并留 X 线片记录，探查结束，撤出导管，穿刺部位止血包扎。

DSA 在进行曝光时分摄影和透视两种情况：

(1) 摄影（拍片）：操作人员采取隔室操作的方式（即操作医师在操作间内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房中病人情况，并通过对讲系统与病人交流，此种情况实际运行中为个别情况，占比较小。

(2) 透视：病人需要进行介入治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时介入手术医生位于铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏等辅助防护设施后身着铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防

护眼镜等个人防护用品在介入手术室内对病人进行直接的介入手术操作。同室操作也存在摄影的情况。

隔室操作时间较短，所占比例较小，而同室操作时间占整台手术 DSA 出束时间所占比例较大，本次评价重点关注同室操作对医生等职业人员的影响。

9.4.4 DSA 营运期污染工序及产污情况

(1) 放射性污染：DSA 的主要污染因子是 X 射线。

X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，DSA 在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会放射 X 射线。在开机出束时，有用束和漏射、散射的 X 射线对周围环境造成辐射污染。在 X 射线装置使用过程中，X 射线贯穿机房的屏蔽设施进入外环境中，将对操作人员及机房周围人员造成辐射影响。

(2) 其他污染

① 废水

介入科 DSA 采用数字成像，不产生废显影液、废定影液。

② 废气

X 射线与空气作用产生极少量的臭氧、氮氧化物等有害气体，但由于 DSA 工作时的管电压、管电流较小，因此产生的臭氧和氮氧化物也较少。

③ 固废

介入 DSA 采用数字成像，无固废产生。介入手术时会产生医用器具和药棉、纱布、手套等医疗废物；医护人员在工作中产生少量生活垃圾和办公垃圾。

④ 噪声

机房空调工作会产生一定的噪声，声压级 70~75dB (A)，对周围环境影响小。

9.5 小结

表 9-2 新建核医学科源项分析一览表

序号	核素名称	半衰期	状态	射线	最大能量 (MeV)	辐射因子	放射性三废
1	⁹⁹ Mo	2.75d	非密封	γ、β	E _γ : 0.739	γ、β 射线， 表面污染	固废、气溶胶
2	^{99m} Tc	6.02h	非密封	γ	E _γ : 0.141	γ 射线， 表面污染	固废、废液、 气溶胶
3	¹⁸ F	110min	非密封	EC	E _γ : 0.511	γ 射线， 表面污染	固废、废液、 废气
4	⁶⁸ Ga	68.3min	非密封	EC	E _γ : 0.511	γ、β 射线， 表面污染	固废、废液、 废气

表 9-2 新建核医学科源项分析一览表（续表）

序号	核素名称	半衰期	状态	射线	最大能量 (MeV)	辐射因子	放射性三废
5	⁸⁹ Sr	50.53d	非密封	β	E _β : 1.49	β 射线, 韧致辐射、表面污染	固废
6	¹⁵³ Sm	46.5h	非密封	γ、β	E _γ : 0.103	γ、β 射线, 表面污染	固废
7	³² P	14.26d	非密封	β	E _β : 1.711	β 射线, 韧致辐射、表面污染	固废、废气
8	⁹⁰ Y	64.1h	非密封	β	E _β : 2.284	β 射线, 韧致辐射、表面污染	固废、废液
9	¹³¹ I	8.02d	非密封	γ、β	E _γ : 0.365	γ、β 外照, 表面污染	固废、废液、废气
10	¹²⁵ I	59.4d	籽源	γ	E _γ : 0.355	γ 射线, 表面污染	固废

⁸⁹Sr 和 ¹⁵³Sm 核素治疗患者直接出院, 不考虑产生放射性废液; ³²P 敷贴器制作过程中产生的残液和废弃敷贴器按照固体放射性废物处置。

表 9-3 射线装置源项分析一览表

序号	设备名称	主要参数	主要放射性危害
1	DSA	125kV/1000mA	X 射线
2	PET/CT	CT: 150V/1000mA	X 射线
3	SPECT/CT	CT: 150kV/1000mA	X 射线

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目工作场所的布局

10.1.1 医技急诊楼（B2）新建核医学科

1、平面布置

本项目医技急诊楼（B2）新建核医学科位于医技急诊楼 B2 层东北侧，核医学科场所西侧为补风机房、洗衣房和设备站房等，南侧为排风机房和机动车库。核医学科楼上 B1 层为中药库存储区、西药库存储区及病案库存储区，楼下 B3 层为放疗中心（直线加速器机房、后装机房、模拟定位机房等）。

核医学科场所北侧 12#楼梯和 10#、11#电梯设置为医护专用电梯，医护人员由此进入核医学科；北侧 8#楼梯和 12#、13#电梯，东南侧 5#、6#、7#电梯，均设置为就诊患者电梯，就诊患者可经此通道进入核医学科；满足离院要求的患者经场所西北侧 7#楼梯和 9#电梯离院，9#电梯为核医学科专用电梯，设置门禁，离院患者经 9#电梯直达一层，出电梯直接由核医学科专用出口离院。



图 10-1 医技急诊楼 B2 核医学科一层专用出口位置图

拟建核医学科四周相邻场所见下表。

表10-1 医技急诊楼 B2 拟建核医学科相邻场所一览表

辐射场所	西侧	南侧	楼上 B1 层	楼下 B3 层	场所出入口		
					医护人员	就诊患者	离院患者
医技急诊楼 B2 核医学科	补风机房、 洗衣房和设备 站房等	排风机房和 机动车库	中药库存储 区、西药库存 储区及病案 库存储区	放疗中心，直线 加速器机房、后 装机房、模拟定 位机房等	北侧 12#楼 梯和 10#、 11#电梯	北侧 8#楼 梯和 12#、 13#电梯， 东南侧 5#、6#、7# 电梯	7#楼梯和 9# 电梯(核医学 科专用电梯)

新建核医学工作场所的内部布局为：北部为医护人员办公区域，东部为患者接诊，中部为诊疗区域。中部诊疗区域物理隔离了 3 个独立区域：北部是 PET 诊疗区、中部是 SPECT 诊疗和高活区、南部是 ^{131}I 核素治疗和病房；患者离院出口设置在场所西北侧。核医学科位置及布局见下图 10-2。

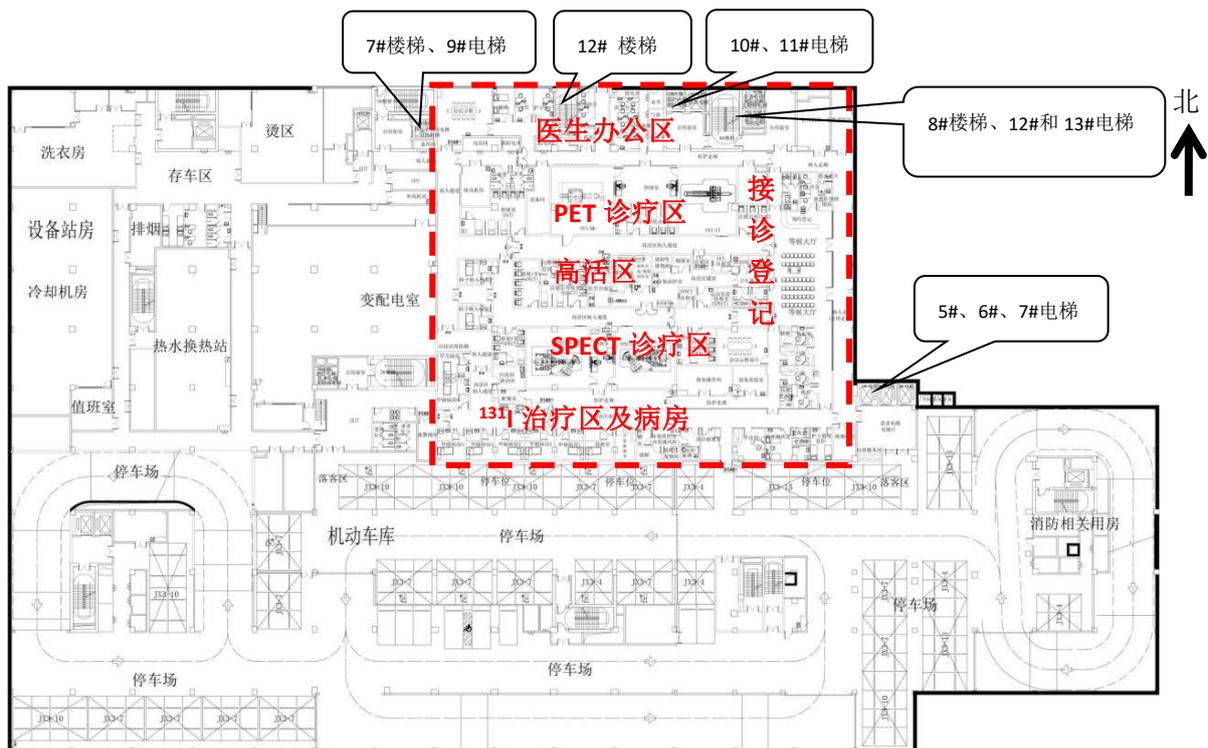


图 10-2 医技急诊楼 B2 新建核医学工作场所位置及布局图

2、路径规划

为减少交叉污染，核医学科分别设置了医生通道和病人通道，医生出入口、就诊患者入口、离院患者出口。

(1) 医护人员路径

医护人员由北侧 12#楼梯和 10#、11#医护专用电梯，从北侧医护走廊，向西可进入医生办公室、值班室、PET 控制室工作；通过东侧走廊可进入护士站；通过中部卫生通道可进入高活区储源 1 室、发生器室、锗镓发生器室、敷贴室、粒子装载室等相关功能房间，进行放射性药品（ ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm ）的淋洗制备、分装、质控和注射工作；继续向南进入门诊、敷贴室、护士办公室；通过南部医护走廊可进入 SPECT 检查室、碘配餐室、碘自动分装室和储源 2 室等相关功能房间，最后沿原路离开核医学科。

(2) 患者路径

①（ ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{131}I 、 ^{125}I 粒籽源）患者经核医学科北侧和东南侧患者电梯、楼梯进入核医学科，在核医学科东侧接诊区域进行预约登记，根据挂号或就诊情况，在护士站登记后在等候区候诊，根据叫号通过相应就诊患者通道进入核医学科患者通道。各核素患者具体路径如下：

^{18}F 和 ^{68}Ga 患者：服药病人通道 1---PET 注射室---PET 注射候诊室 1/注射候诊室 2---PET/CT 或 PET/MR 显像---PET 留观室留观---医生批准许可后，通过西侧门禁从 7#楼梯和 9#患者电梯离院；

^{99m}Tc 患者：服药病人通道 2---SPECT 注射室注射---SPECT 注射后候诊室 1/注射后候诊室 2 候诊---SPECT/CT 检查 1 室/检查 2 室进行显像---SPECT 留观室 1/留观室 2 留观---医生批准许可后，通过西侧门禁从 7#楼梯和 9#患者电梯离院；

^{89}Sr 和 ^{153}Sm 患者：服药病人通道 2---SPECT 注射室注射---SPECT 注射后候诊室 1/注射后候诊室 2 候诊---SPECT 留观室 1/留观室 2 留观---医生批准许可后，通过西侧门禁从 7#楼梯和 9#患者电梯离院；

^{32}P 患者：就诊患者经预约登记后，医护人员在高活区敷贴室手套箱内制备完成敷贴器。患者经北侧、东南侧患者入口进入核医学科场所，按照叫号进入门诊敷贴室进行治疗，治疗结束后从原路离开核医学科；

^{125}I 粒籽源患者：就诊患者经预约登记后，医护人员在高活区粒子装载室内制备粒子枪。患者经服药病人通道 2---SPECT/CT 检查 1 室/检查 2 室进行粒籽植入--- ^{125}I 植入专用病房

留观---医生批准许可后，通过门禁从 7#楼梯和 9#患者电梯离院；

^{90}Y 患者：患者在 5F 介入科 DSA1 室进行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA 模拟输注后，经 11#电梯进入核医学科场所，经服药病人通道 2 进入 SPECT/CT 检查 1 室/检查 2 室显像后离院；在 5F 介入科 DSA1 室完成介入注射 ^{90}Y 树脂微球患者，经 11#电梯进入核医学科场所，经服药病人通道 2 进入 ^{90}Y 专用病房留观/住院，经医生批准许可后，通过门禁从 7#楼梯和 9#患者电梯离院；

甲亢患者：病人通道 3---自助服碘室---甲亢病房 1/甲亢病房 2 留观---医生批准许可后，经病人通道 4---通过门禁从 7#楼梯和 9#患者电梯离院；

甲癌患者：病人通道 3---自助服碘室---甲癌病房---SPECT/CT 检查 1 室/检查 2 室显像---甲癌病房---出院活度检测---医生批准许可后，经病人通道 4---通过门禁从 7#楼梯和 9#患者电梯离院。

（3）放射性药品路径

拟使用的非密封放射性药品为采购成品药或自行制备药品，放射性药品通过就診治疗时间差，从 11#电梯外运至相应储源室贮存。

其中 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器运至发生器室， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 淋洗分装手套箱进行； ^{68}Ge (^{68}Ga) 发生器运送至锗镓发生器室，在手套箱内进行淋洗制备； ^{18}F 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 和 ^{90}Y 树脂微球贮存于储源 1 室，分别在分装室手套箱中进行分装标记； ^{125}I 粒籽源直接送到粒子装载室备用； ^{32}P 送至敷贴制备间进行敷贴制备； ^{131}I 药物由供货方直接送到储源 2 室，在手套箱中进行自动分装，患者自助服药。

（4）固体放射性废物路径

新建核医学科各功能房间产生的固体放射性废物，分类分期、打包收集于放射性暂存间，然后转至废物间贮存，达到清洁解控要求后，利用就診治疗时间差从 9#核医学专用电梯运出核医学科。

具体核医学科场所平面布局及人、物流见附图 8。

由以上分析可知，核医学科从北至南主要分为 5 个区域：医护人员办公区、PET/CT 诊疗区、药物操作区（高活区）、SPECT/CT 诊疗区和碘治疗区，控制区相对集中。核医学科设置有单独的出入口，走廊出入口及病房等防护门拟设置有门禁系统，限制患者或受检者的随意流动。该项目设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物通道，防止交叉污染。控制区出入口设立了卫生缓冲区，控制区内设有给药后患者留观及住院的专用卫生间，项目布局符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）核医学科工作场所平面布局的要求。

10.1.2 新建 5F 介入科 DSA1 室、DSA2 室

新建介入科 2 个 DSA 室及辅助用房的平面布局见下图：

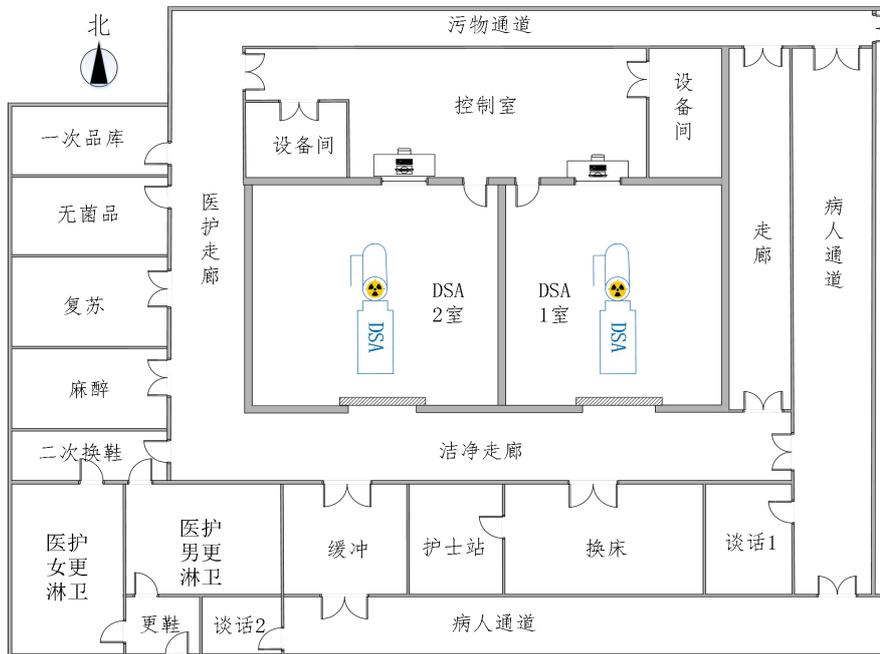


图 10-3 新建介入科 DSA 室平面布局示意图

根据满足“诊治工作要求、有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰”的原则，对项目辐射工作场所平面布置合理性分析如下：

本项目 DSA 机房位于医技急诊楼 5F 介入科西北侧，拟使用 2 台 DSA 设备。项目整体包括 DSA1 室、DSA2 室、设备间、控制室（两个机房共用）、医护走廊、洁净走廊和污物通道等。DSA1 室和 DSA2 室北侧为设备间、控制室、污物通道，西侧为医护走廊、无菌品库房、复苏室等，南侧为洁净走廊、缓冲间、护士站等，楼上为护士站、ICU 病房，楼下为抗生素药物配置区、清洁间、医护走廊等。医技急诊楼四层、五层、六层平面布置图具体见附图 10-5、附图 10-6 和附图 10-7。

医护人员通过西南侧通道进入更衣室，再通过 DSA 控制室进入 DSA1 室和 DSA2 室，患者由南侧缓冲区进入洁净走廊，再进入 DSA1 室和 DSA2 室。

本项目射线装置有用线束未直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位，各组成部分功能分区明确，人员进出操作流程顺畅，项目远离医院产科、儿科及人员密集区域，从辐射安全和环境保护的角度考虑，本项目平面布局合理。

10.1.3 介入科 DSA1 室（乙级非密封放射性工作场所）

本项目在介入科（5F）DSA1 室对患者进行药物输注，开展 ^{90}Y 树脂微球介入治疗项目，其路径设计如下：

(1) 放射性药品

^{99m}Tc -MAA 或 ^{90}Y 树脂微球由核医学工作人员准备好后，通过北侧 11#电梯运输至介入科（5F）DSA1 室，并完成对治疗患者的介入输注。

(2) 医护人员

介入科医师在洁净区完成导管介入的准备工作后，进入 DSA1 室（5F）为患者进行导管植入手术；由核医学科人员为患者完成药物输注，去除介入导管，最后安排 ^{90}Y 治疗患者进入 B2 核医学科 ^{90}Y 专用病房留观/住院，并进行病人管理，直至病人出院。

(3) 患者路径

治疗患者先进入介入科 DSA1 室（5F）完成导管植入，再进行 ^{99m}Tc 或 ^{90}Y 树脂微球输注，注射 ^{99m}Tc -MAA 患者随后经过南侧缓冲区从 11#电梯进入核医学科（B2）SPECT/CT 检查 1 室或 SPECT/CT 检查 2 室进行扫描显影，随后离院。注射 ^{90}Y 树脂微球患者经过南侧缓冲区从 11#电梯进入核医学科（B2）专用病房留观/住院，经医师许可后离院。

(4) 放射性废物

^{90}Y 树脂微球（ $^{90}\text{YCl}_3$ ）为非挥发物质，不产生气态放射性废物。

^{90}Y 树脂微球介入输注过程中产生药物洒漏、残液和一次性用具等，按固体放射性废物处置，由核医学科人员收集于 DSA1 室放射性废物桶内，转运至核医学科（B2）放射性废物间暂存，按照核医学科的放射性废物管理要求进行处置。

综上所述，介入科（5F）DSA1 室作为新增乙级非密封放射性工作场所，位于医技急诊楼 5F 西北侧，不毗邻产科、儿科、食堂等，远离人员密集区，各通道设置独立，不交叉重叠，功能设施配置齐全、医护人员、患者、药品及放射性废物等进出顺畅，从辐射安全和环境保护的角度考虑，选址和布局合理可行，符合 HJ1188-2021 的选址和布局要求。

10.2 新建核医学科工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，对控制区运用行政管理程序（如工作许可证制度）和门禁装置限制进出。监督区不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

将核医学科区域 SPECT、PET/CT、PET/MR 检查室、储源室、服药后留观室或候诊室、高活区、注射室、抢救室、专用病房及卫生间、放射性污物间和清洗间、服药病人通道和衰变池等划分为控制区，与控制区相邻区域划分为监督区。

核医学科辐射防护分区图见附图 9。

10.3 新建核医学科各功能场所辐射屏蔽设计

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
PET/CT 诊疗区	PET/MR 检查室 南北: 9.07m 东西: 8.43m 高: 6.9m	东墙	控制室	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡
			候诊室 2	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 1	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡
		西墙	PET/MR 设备间	
		北墙	医护走廊	
		地板	B3 预留房间	250mm 混凝土
		顶板	B1 西药存储间	250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板
		患者门	病人通道 1	12mm 铅 (电动平移门)
		医护门	控制室	12mm 铅 (手动平开门)
		观察窗	控制室	12mmPb (铅玻璃)
	PET/CT 检查室 南北: 9.07m 东西: 7.86m 高: 6.9m	东墙	设备间	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡
			候诊室 1	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 1	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡
		西墙	控制室	
			候诊室 2	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		北墙	医护通道 1	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡
		地板	B3 示教室	250mm 混凝土
		顶板	B1 病案储存间	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		患者门	病人通道 1	12mm 铅 (电动平移门)
		医护门	控制室	12mm 铅 (手动平开门)
	观察窗	控制室	12mmPb (铅玻璃)	
	PET 留观室 南北: 5.60m 东西: 8.67m 高: 6.9m	东墙	PET/MR 设备间	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 1	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		西墙	病人出院通道	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		北墙	医护更淋卫	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		地板	B3 加速器机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 预留房间	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 1	10mm 铅 (手动平开门)
	PET 注射后 候诊室 1 南北: 3.74m 东西: 3.81m 高: 6.9m	东墙	接诊通道	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 1	
		西墙	PET/CT 检查室	
		北墙	设备间	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		地板	B3 检测实验室	250mm 混凝土
顶板		B1 计算机房	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板	
防护门		病人通道 1	10mm 铅 (手动平开门)	

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
PET/CT 诊疗区	PET 注射后 候诊室 2 南北：3.85m 东西：7.98m 高：6.9m	东墙	PET/CT 检查室	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 1	
		西墙	PET/MR 检查室	
		北墙	控制室	
		地板	B3 模拟 CT	250mm 混凝土
		顶板	B1 药库房	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 1	10mm 铅（手动平开门）
	PET 注射室 南北：2.24m 东西：2.47m 高：6.9m	东墙	清洁间	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	高活卫生通道	
		西墙	PET 注射位	
		北墙	病人通道 1	
		地板	B3 医护走廊	250mm 混凝土
		顶板	B1 医护走廊	250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 1	15mm 铅（手动平开门）
		注射窗	PET 注射位	25mmPb（铅玻璃）
	污物间 2 南北：1.52m 东西：2.07m 高：6.9m	东墙	清洁间	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡
		南墙	SPECT 留观 1 室+ 卫生间	
		西墙		
		北墙	病人通道 1	
		地板	B3 通道	250mm 混凝土
		顶板	B1 通道	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 1	5mm 铅（手动平开门）
	清洁间 南北：1.52m 东西：2.07m 高：6.9m	东墙	锝发生器室	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡
		南墙	PET 注射后候诊 室 1 卫生间	
		西墙	污物间 2	
		北墙	病人通道 1	
		地板	B3 通道	250mm 混凝土
		顶板	B1 通道	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 1	5mm 铅（手动平开门）

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度		
高活区	储源 1 室 南北：2.12m 东西：2.32m 高：6.9m	东墙	PET 注射位	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡		
		南墙	高活区通道			
		西墙	粒子装载室			
			北墙	病人通道 1	250mm 混凝土	
			地板	B3 通道		
			顶板	B1 通道		250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
			防护门	高活区通道		20mm 铅（手动平开门）
	污物间 1 南北：2.66m 东西：2.90m 高：6.9m	东墙	粒子装载室	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡		
		南墙	分装室			
		西墙	发生器室			
		北墙	病人通道 1			
			地板	B3 通道	250mm 混凝土	
			顶板	B1 通道	250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板	
			防护门	高活区通道	20mm 铅（手动平开门）	
	粒子装载室 南北：2.66m 东西：2.64m 高：6.9m	东墙	储源 1 室	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡		
		南墙	高活区通道			
		西墙	污物间 1			
			北墙	病人通道 1	250mm 混凝土	
			地板	B3 加速器准备		
			顶板	B1 病案储存间		250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
			防护门	高活区通道		15mm 铅（手动平开门）
	敷贴制备室 南北：1.35m 东西：2.00m 高：6.9m	东墙	高活区通道	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡		
		南墙	病人通道 2			
		西墙	SPECT 候诊室 1			
		北墙	缓冲通道			
			地板	B3 加速器准备	250mm 混凝土	
			顶板	B1 病案储存间	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板	
			防护门	高活区通道	15mm 铅（手动平开门）	
			手套箱	/	10mmPb	
	发生器室 南北：3.31m 东西：2.82m 高：6.9m	东墙	污物间 1/分装室	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡		
		南墙	二更间			
		西墙	铯发生器室			
		北墙	病人通道 1	240mm 实心砖+5mmPb 硫酸钡		
		地板	B3 通道	250mm 混凝土		
		顶板	B1 通道	250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板		
		防护门	二更间	15mm 铅（手动平开门）		
		手套箱	/	10mmPb		

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
高活区	分装室 南北：2.37m 东西：2.90m 高：6.9m	东墙	高活区通道	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡
		南墙	高活区通道	
		西墙	发生器室/二更	
		北墙	污物间 1	
		地板	B3 加速器机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 药品库房	250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	二更间	10mm 铅（手动平开门）
		传递窗	高活区通道	20mmPb（铅玻璃）
		手套箱	/	60mmPb
	锆镓 发生器室 南北：3.31m 东西：1.95m 高：6.9m	东墙	发生器室	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡
		南墙	缓冲通道	
		西墙	SPECT 注射后候 诊室 1	
		北墙	病人通道 1	
		地板	B3 加速器机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 人员通道	250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	缓冲通道	15mm 铅（手动平开门）
		手套箱	/	10mmPb
	质控室 南北：2.47m 东西：2.00m 高：6.9m	东墙	SPECT 注射室	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 2	
		西墙	高活区通道	
		北墙	高活区通道	
		地板	B3 通道	250mm 混凝土
		顶板	B1 通道	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板；
		防护门	病人通道 2	19mm 铅（手动平开门）
		手套箱	/	20mmPb
	抢救室 1 南北：2.41m 东西：4.12m 高：6.9m	东墙	男更淋卫	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 2	
		西墙	SPECT 注射室	
		北墙	高活区通道	
		地板	B3 人员通道	250mm 混凝土
		顶板	B1 病案存储区	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门（北）	高活区通道	4mm 铅（手动平开门）
防护门（南）		病人通道 2	4mm 铅（手动平开门）	

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
SPECT/CT 诊疗区	SPECT/CT 检查 1 室 南北：8.12m 东西：8.00m 高：6.9m	东墙	SPECT 注射后 候诊室 2	240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡
		南墙	医护走廊	
		西墙	控制室	
		北墙	病人通道 2	
		地板	B3 后装机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 值班室	250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板
		患者门	病人通道 2	5mm 铅（电动平移门）
		医护门	控制室	5mm 铅（手动平开门）
		观察窗	控制室	5mmPb 铅玻璃
	SPECT/CT 检查 2 室 南北：8.12m 东西：8.50m 高：6.9m	东墙	控制室	240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡
		南墙	医护走廊	
		西墙	SPECT 留观 2	
		北墙	病人通道 2	
		地板	B3 直加控制室	250mm 混凝土
		顶板	B1 值班室	250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板
		患者门	病人通道 2	5mm 铅（电动平移门）
		医护门	控制室	5mm 铅（手动平开门）
		观察窗	控制室	5mmPb 铅玻璃
	SPECT 注射室 南北：2.47m 东西：2.88m 高：6.9m	东墙	抢救 1 室	240mm 实心砖+4mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 2	
		西墙	质控室	
		北墙	高活区通道	
		地板	B3 加速器机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 药品库房	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 2	4mm 铅（手动平开门）
		注射窗	SPECT 注射位	10mmPb 铅玻璃
	SPECT 注射 后候诊 1 室 南北：2.81m 东西：4.06m 高：6.9m	东墙	敷贴器制备间	240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 2	
		西墙	SPECT 留观 1	
		北墙	污物间 2	
		地板	B3 候诊区	250mm 混凝土
		顶板	B1 计算机房	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 2	4mm 铅（手动平开门）

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
SPECT/CT 诊疗区	SPECT 注射 后候诊 2 室 南北：4.87m 东西：3.00m 高：6.9m	东墙	示教阅片室	240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡
		南墙	实验室 1	
		西墙	SPECT 检查 1 室	
		北墙	病人通道 2	
		地板	B3 水冷机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 通道	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 2	4mm 铅（手动平开门）
	SPECT 留观 1 室 南北：6.27m 东西：3.26m 高：6.9m	东墙	SPECT 候诊 1 室	240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 2	
		西墙	病人通道 2	
		北墙	病人通道 1	
		地板	B3 直加控制室	250mm 混凝土
		顶板	B1 药品库房	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 2	4mm 铅（手动平开门）
	SPECT 留观 2 室 南北：4.92m 东西：4.22m 高：6.9m	东墙	SPECT 检查 2 室	240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡
		南墙	清洗间	
		西墙	病人通道	
		北墙	病人通道 2	
		地板	B3 水冷机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 办公室	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 2	4mm 铅（手动平开门）
	SPECT 清洁间 南北：2.67m 东西：2.13m 高：6.9m	东墙	SPECT 注射后 候诊 2 室	240mm 实心砖+1.5mmPb 硫酸钡
		南墙	SPECT 注射后 候诊 2 室卫生间	
		西墙	SPECT 检查 1 室	
		北墙	病人通道 2	
		地板	水冷机房	250mm 混凝土
		顶板	人员通道	250mm 混凝土+2mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 2	2mm 铅（手动平开门）

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
碘治疗区	储源 2 室 南北：1.37m 东西：3.31m 高：6.9m	东墙	污物间 3	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	停车位	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		西墙	被服间（污）	
		北墙	自助服药室	
		地板	B3 停车位	
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	分装质控室	15mm 铅（手动平开门，双人双锁）
		储源箱	/	40mmPb
	污物间 3 南北：1.37m 东西：2.16m 高：6.9m	东墙	医护更淋卫	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	停车位	
		西墙	储源 2 室	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		北墙	¹³¹ I 自动分装室	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		地板	B3 停车位	250mm 混凝土
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	¹³¹ I 自动分装室	15mm 铅（手动平开门）
	¹³¹ I 自动分装室 南北：2.11m 东西：3.87m 高：6.9m	东墙	缓冲区	370mm 实心砖+3mmPb 硫酸钡
		南墙	污物间 2	
		西墙	自助服药室	
		北墙	病人通道 3	
		地板	B3 停车位	250mm 混凝土
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	缓冲区	10mm 铅（手动平开门）
		手套箱（分装）	/	50mmPb
	患者自助 服碘室 南北：2.12m 东西：1.85m 高：6.9m	东墙	131I 自动分装室	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	储源 2 室	
		西墙	被服间（污）	
		北墙	病人通道 3	
		地板	B3 候诊区	250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 3	20mm 铅（手动平开门）
		东侧传递窗	131I 自动分装室	25mm 铅防护门

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
碘治疗区	甲癌病房 1 南北：4.00m 东西：3.75m 高：6.9m	东墙	抢救室 2	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	停车位	
		西墙	甲癌病房 2	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		北墙	病人通道 3	
		地板	B3 停车位	250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 3	15mm 铅（手动平开门）
	甲癌病房 2 南北：4.00m 东西：3.75m 高：6.9m	东墙	甲癌病房 1	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	停车位	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		西墙	甲癌病房 3	
		北墙	病人通道 3	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		地板	B3 停车位	250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 3	15mm 铅（手动平开门）
	甲癌病房 3 南北：4.00m 东西：3.75m 高：6.9m	东墙	甲癌病房 2	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	停车位	
		西墙	甲癌病房 4	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		北墙	病人通道 3	
		地板	B3 停车位	250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 3	15mm 铅（手动平开门）
	甲癌病房 4 南北：4.00m 东西：3.54m 高：6.9m	东墙	甲癌病房 3	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	停车位	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		西墙	甲癌病房 5	
		北墙	病人通道 3	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		地板	B3 停车位	250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 3	15mm 铅（手动平开门）
	甲癌病房 5 南北：4.00m 东西：3.67m 高：6.9m	东墙	甲癌病房 4	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	停车位	
		西墙	报警阀间	
		北墙	病人通道 3	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
地板		B3 停车位	250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板	
顶板		B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板	
防护门		病人通道 3	15mm 铅（手动平开门）	

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
碘治疗区	甲亢病房 1 南北：3.33m 东西：4.95m 高：6.9m	东墙	人员通道	240mm 实心砖+10mmPb 硫酸钡
		南墙	甲亢病房 2	
		西墙	楼梯	
		北墙	人员通道	
		地板	B3 加速器机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 人员通道	250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 3	5mm 铅（手动平开门）
	甲亢病房 2 南北：3.86m 东西：4.95m 高：6.9m	东墙	人员通道	240mm 实心砖+10mmPb 硫酸钡
		南墙	人员通道	
		西墙	楼梯	
		北墙	甲亢病房 1	
		地板	B3 加速器机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 人员通道	250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 3	5mm 铅（手动平开门）
	配餐间 南北：2.28m 东西：4.26m 高：6.9m	东墙	医护走廊	240mm 实心砖+3mmPb 硫酸钡
		南墙	病人通道 3	
		西墙	人员通道	
		北墙	清洗间	
		地板	B3 加速器机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 人员通道	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	医护走廊	16mm 铅（手动平开门）
		配餐口	病人通道 3	15mm 铅防护窗
	抢救室 2 南北：4.00m 东西：3.60m 高：6.9m	东墙	被服（污）	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		南墙	停车位	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		西墙	甲癌病房 1	370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		北墙	病人通道 3	240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡
		地板	B3 停车位	250mm 混凝土+5mmPb 硫酸钡复合板
		顶板	B1 停车位	250mm 混凝土+9mmPb 硫酸钡复合板
防护门		病人通道 3	15mm 铅（手动平开门）	

表 10-2 核医学科主要场所屏蔽设计情况（续表）

区域	场所名称	方位	相邻场所	拟采取的屏蔽材料及厚度
¹²⁵ I 粒子植入病房 南北：3.20m 东西：4.36m 高：6.9m		东墙	病人通道 2	240mm 实心砖
		南墙	人员通道	
		西墙	病人通道 4	
		北墙	病人通道 1	
		地板	B3 直加机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 中药库房	250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 2	4mm 铅（手动平开门）
⁹⁰ Y 病房 南北：3.20m 东西：4.36m 高：6.9m		东墙	病人通道 2	240mm 实心砖
		南墙	人员通道	
		西墙	病人通道 4	
		北墙	病人通道 1	
		地板	B3 直加机房	250mm 混凝土
		顶板	B1 中药库房	250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板
		防护门	病人通道 2	4mm 铅（手动平开门）

说明：1、钼铯发生器的自屏蔽：10mmPb，注射台 2mmPb，注射器铅套 2mmPb，个人防护用品 0.5mmPb，铅眼镜 0.35mmPb。

2、固体放射性废物桶：¹³¹I 治疗场所：20mmPb，其他场所：10mmPb。

10.4 新建核医学科的通风设施

1、新建核医学科拟在核医学科东北角的新风机房安装一台 25000m³/h 的新风风机，从风机出风口分为 3 支管道，其中一支较细管道直接连接至核医学科北侧的非活性区，另一支较粗管道则向南延伸进入核医学科监督区及控制区，第 3 支独立管道涉及 ¹³¹I 核素相关场所，不与其他核素区域相交叉。

2、新建核医学科专门设置了 5 套排风系统，非活性区排风装置为使用医技急诊楼原有排风系统（不另行描述）。

（1）核医学科发生器室、锗镓发生器室、敷贴制备间、质控室、分装室、¹³¹I 自动分装均配备手套箱，6 个手套箱设置独立通风系统，各手套箱顶壁安装高效活性炭净化过滤装置（¹³¹I 自动分装手套箱安装碘吸附装置和活性炭过滤装置）。各手套箱支管均安装止回阀，汇入总管后引至医技急诊楼楼顶排放。

(2) PET/CT 区域排风系统：高活区沾污检测室→清洁间→PET 注射候诊室 1→PET/CT 检查室→PET 注射区→储源 1 室→放射性污物间 1→病人通道 1→籽粒分装/敷贴制作室→发生器室→PET 注射候诊室 2→锗镓发生器室→PET/MR 检查室→PET 清洁间→PET 污物间 2→PET 留观室→籽粒植入病房→走廊→90Y 专用病房。各区域排风支管在接入主管前安装止回阀。主管排风经活性炭吸附装置过滤后，最终引至医技急诊楼楼顶排放。

(3) SPECT/CT 区域排风系统：医护更淋卫→SPECT 抢救 1/运动负荷室→敷贴室及其储源室→SPECT 注射候诊室 1→SPECT 注射室→SPECT 清洁间→SPECT/CT1 室→分装质控室过道→化学合成室→病人通道 2→SPECT/CT2 室→SPECT 注射候诊室 2→SPECT 留观室 1→SPECT 留观室 2。各区域排风支管在接入主管前安装止回阀。主管排风经活性炭吸附装置过滤后，最终引至医技急诊楼楼顶排放。

(4) ^{131}I 治疗区排风系统：门诊→门诊换班室→医护更衣室→医护更淋室→医护走廊 2 及 SPECT/CT 控制室→放免实验室→清洁被服库→放免操作间→碘治疗卫生通过间→甲功室→碘分装质控室→污物间 2→自助服药室→储源 2 室→污染被服库→抢救 2 室→污洗间/清洁间→甲亢留观室→甲亢病房 1/2。各区域排风支管在接入主管前安装止回阀。主管排风经活性炭吸附装置过滤后，最终引至医技急诊楼楼顶排放。

(5) 甲癌病房排风系统：核医学科共设置 5 间甲癌病房，排风系统自甲癌病房 1 至甲癌病房 5 依次排入管线，各支管在接入主管前安装止回阀。主管排风经活性炭吸附装置过滤后，最终引至医技急诊楼楼顶排放。

以上排风系统中，手套箱排风系统通过核医学科东南部的排风风井引至新建医技急诊楼顶排放；PET/CT 区域排风系统、SPECT/CT 区域排风系统、 ^{131}I 治疗区排风系统和甲癌病房排风系统均通过核医学科西侧的排风风井引至新建医技急诊楼顶排放，楼顶排风口设置检测口，见附图 4 和附图 10-4。

10.5 核医学科的放射性废水设施

新建核医学科产生的放射性废液设置专用管道，排至 B3 的放射性专用提升设备间内，提升设备出水管架空段均设置 2mm 铅皮包裹，从专用排水竖井内，提升至地下一层后出户，后引至室外衰变池。

核医学科衰变池位于医技急诊楼北侧室外空地，根据长、短半衰期的核素的不同，设置 2 个独立的室外衰变池，容积分别为 266.4 m^3 (^{131}I) 及 28.5 m^3 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等)。长半衰期衰变池 (^{131}I) 采用三级槽式衰变工艺，通过电动控制阀及水箱水位控制器分别控制进、出水量，交

替贮存和排放；短半衰期衰变池（ ^{99m}Tc 等）采用三级推流式衰变工艺，每个衰变池前均设置了化粪池（沉淀池），衰变池后排放口设置检测池，衰变池的每次排放前须先检测，符合放射性废液总 β 不大于 10Bq/L （含 ^{131}I 废液贮存超过 180 天）后，方可排入医院污水设施处理，最终进入市政管网。每年对短半衰期衰变池中的放射性废液进行监测。

新建核医学科衰变池废液处理原理见下图。

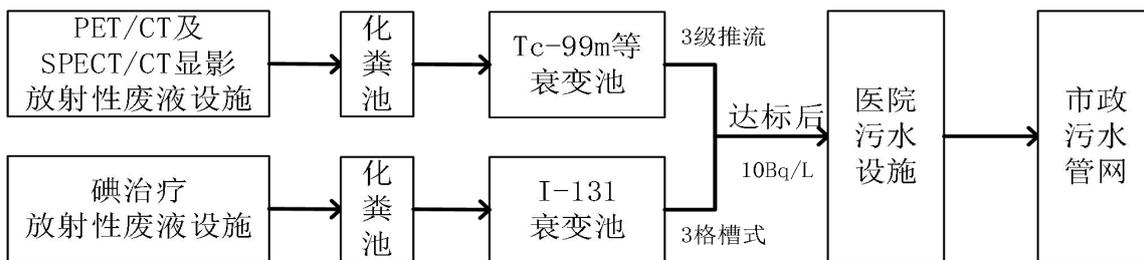


图 10-4 新建核医学科废水排水原理

新建核医学科放射性废水管道所有立管及裸露的污水排水支管均采用 2mm 铅皮包裹+2mm 镀锌钢板保护层防护。衰变池均采用混凝土浇筑成型，长半衰期衰变池池体上边沿距地面约 0.9m，底部采用 400mm 混凝土，池壁采用 350mm 混凝土，各池之间隔断采用 250 混凝土；短半衰期衰变池池体上边沿距地面约 0.75m，底部采用 400mm 混凝土，池壁采用 250mm 混凝土，各池之间隔断采用 200 混凝土；长半衰期衰变池和短半衰期衰变池各表面均涂抹 20mm 的防水砂浆进行防渗处理，并在各池底部做 100mm 的素混凝土垫层。衰变池井盖均采用 5mm 铅当量防护井盖。衰变池区域拟设置围栏和电离辐射警示标志，防止无关人员靠近。衰变池设计情况详见附图 5、附图 6 和附图 7。

10.6 新建核医学科工作场所放射防护与安全设施

10.6.1 设计已提出、已配备的污染防治措施与安全设施

1、划定控制区和监督区，控制区采用红色警示线划分，给出相应的人员流动导向指示，监督区采用黄色警示线划分。控制区内各防护门外及走廊等醒目区域粘贴电离辐射警告标志及辐射防护注意事项。

2、控制区出入口、病房等区域设置门禁装置，限制人员的进出和给药后患者的随意活动，无关人员不得进入控制区，给药后患者不得随意流动，避免不必要的照射。

3、在控制区的出入口处设置卫生缓冲区，提供必要的更衣设施、个人防护用品及表面污染监测设备。控制区内设置专用卫生间，给药患者的排泄物进入衰变池。

4、PET/MR 检查室、PET/CT 检查室和 2 间 SPECT/CT 室设置门灯联锁装置、红外防挤压装置，并在机房门外粘贴电离辐射警示标志，控制室设置观察窗和语音对讲系统。

5、¹³¹I 分装给药为自动操作，医护人员通过视频监控和广播指导患者服药。

6、在核医学科控制区出口、入口处安装固定式辐射监测仪，禁止将被污染的物品带出，确保安全。

7、各候诊室、留观室和病房均设置门窗封闭措施和独立通风装置，制定专门的管理制度，安装视频监控和对讲广播装置，配备专用废物桶和清洁用品。

8、配备足够数量的放射性药物存放柜和放射性废物桶，并黏贴电离辐射警告标志。

9、设置抢救室，配备急救设施，用于药物过敏等患者的抢救。

10、已配备的辐射监测仪器如下表：

表 10-3 医院已配备的辐射监测设备表

序号	设备名称	规格型号	数量	备注
1	表面污染仪	RADOS-80	1	正常有效
2	个人剂量辐射报警仪	AK-RD1100	2	正常有效
3	辐射巡测仪	FD-3013B	1	正常有效

11、拟配备防护用品

表 10-4 医院拟配备防护用品表

序号	拟配设备	数量	参数/用途
1	个人剂量报警仪	2 个	工作人员佩戴个人剂量报警，其中利旧 2 台
2	转运防护盒	10 个	药物转运
3	钨合金注射器屏蔽套	5 个	注射器防护
4	注射台注射窗	3 个	底面、正面、顶面均进行屏蔽
5	药物及送饭传递窗	2 个	药物传递及食物传递
6	铅废物桶	10 个	暂时存放放射性废物
7	移动铅屏风	10 个	甲癌病房、留观室、注射后候诊室使用
8	个人防护用品	5 套	铅衣、铅眼镜、铅围脖、铅帽、铅围裙
9	放射性污染防护服	10 套	防止应急处理时的表面沾污
10	长柄镊子	2 支	粒籽植入远距离操作时使用
11	有机玻璃眼镜或面罩	2 个	防止敷贴治疗时对工作人员和患者产生照射
12	应急及去污物品	1 箱	包括一次性防水手套、气溶胶防护口罩、安全眼镜、防水工作服、胶鞋、去污剂和/或喷雾（至少为加入清洗洗涤剂 and 硫代硫酸钠的水）；小刷子、一次性毛巾或吸水纸、毡头标记笔（水溶性油墨）、不同大小的塑料袋、酒精湿巾、电离辐射警告标志、胶带、标签、不透水的塑料布、一次性镊子

10.6.2 应完善的污染防治措施

1、场所

(1) 在核医学科内不得进食、饮水、吸烟，也不得进行无关工作及存放无关物品。

(2) 卫生通过间应安装有表面污染检测仪及医护人员更衣柜。

(3) 操作后及时对工作台、设施、地面等进行表面污染检查和去污工作。

(4) 敷贴器的制作间，其墙壁、地面及工作台面应铺易去除污染的铺料；敷贴器制作时应在手套箱内操作，制作者应戴乳胶手套。

(5) 敷贴器贮源箱的外表面应标有放射性核素名称、最大容许装载放射性活度和牢固、醒目的电离辐射标志。贮源箱的屏蔽层结构应分内外两层。内层为铝或有机玻璃等低原子序数材料，其厚度应大于 β 辐射在相应材料中的最大射程。外层为适当厚度的铅、铸铁等重金属材料，并具有防火、防盗的性能。距离贮源箱表面 5cm 和 100 cm 处因泄漏辐射所致的周围剂量当量率分别不应超过 $10 \mu\text{Sv/h}$ 和 $1 \mu\text{Sv/h}$ 。

(6) 实施敷贴治疗时，应由医护人员操作，在不接触患者或受检者皮肤的一面用不小于 3 mm 厚的橡皮覆盖屏蔽；敷贴治疗室内高 1.5m 以下的墙面应有易去污的保护涂层。地面，尤其在治疗患者位置，应铺有可更换的质地较软又容易去污染的铺料；实施治疗时，应由医护人员操作，在不接触患者或受检者皮肤的一面用不小于 3 mm 厚的橡皮覆盖屏蔽；治疗室内患者座位之间应保持 1.2m 的距离或设置适当材料与厚度的防护屏蔽；治疗室内应制定敷贴治疗操作规程、登记台账及卫生管理制度，并配有 β 污染检查仪等检测仪器。

(7) 敷贴治疗完成后，给患者发放治疗卡和随访管理须知，说明治疗结束后的废敷贴器需带回医院核医学科管理。

(8) ^{125}I 粒子植入留观室为控制区，除医护人员外，无关人员不得入内，患者不应随便离开；医护人员查房应与患者保持 1m 以上的距离。

(9) 各功能场所的清洁用品不得重复使用，也不得相互交叉使用。

(10) 加强对服药病人的管理，甲癌与甲亢病人共用服药装置和部分病人通道，管理上采取分开服药等措施，避免发生交叉接触。

2、源库

(1) 核医学科源库放射源贮存柜不得存放其他物品，实施双人双锁的严格管理。

(2) 贮存的放射性物质应及时登记建档，放射性物质每次出入库应进行登记。

(3) 场所应采取防火、防水、防盗、防丢失、防破坏、防射线泄露的措施，应安装 24 小时摄像监控及防盗报警装置。

(4) 放射性物质的贮存容器或保险箱应有适当屏蔽。放射性物质的放置应合理有序、易于取放，每次提取放射性物质应只限于需用的部分。不再使用的放射性物质，应立即送回原地储存。

(5) 放射性物质贮存室或存储柜应定期进行放射防护监测，并记录存档。

(6) 对未用完已没有医用价值的其它放射性药品（统称为废液），医院要严格控制其产生，根据病人的实际或预计使用量，根据最优化原则，预定放射性药品。

(7) 工作人员操作放射性核素时，正确穿戴好个人防护用品，禁止直接接触药品。

3、病人

(1) 加强对服药后病人的管理，核医学科相应位置设置明确的患者或受检者导向标识或导向提示，提示病人不得随意走动。

(2) 甲癌患者住院期间实施严格的隔离措施；正常情况下，严禁他人进入甲癌病房；患者住院期间的饮食设置专用送餐窗口，通过语音对讲系统通知患者取餐；甲癌病房更换下来的被服等，打包转移至被服间暂存，待衰变到解控水平后在盥洗间进行清洗。

(3) 接受了 ^{131}I 治疗的患者，其体内的放射性活度降至低于 400MBq ，或距离患者 1 米处周围剂量不大于 $25\mu\text{Sv/h}$ ，方可离院。

4、衰变池

(1) 衰变池的排放口预留检测口，检测达标后，经审管部门批准排放。

(2) 衰变池地上应设置围栏，悬挂电离辐射标志，按照控制区要求进行管理。

(3) 不得将放射性废液直接排入普通下水道，对于收纳核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 与 ^{18}F 等半衰期小于 24h 废液的衰变池，存放超过 30 天后，可直接解控排放；含 ^{131}I 废液的衰变池，需存放超过 180 天后，监测达标排放至医院污水处理设施，按照 GB18871-2002 中 8.6.2 规定排放，每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗，排放口总 β 不大于 10Bq/L ， ^{131}I 放射性活度浓度不大于 10Bq/L 。

(4) 放射性三废实行专人管理，建立台账，记录监测结果和排放时间并存档备案。

10.7 新建核医学科三废的管理

10.7.1 固体放射性废物的管理

1、一般要求

(1) 根据核医学实践中产生废物的形态及其中的放射性核素的种类、半衰期、活度水平和理化性质等，按放射性废物分类要求将放射性废物进行分类收集和分别处理。

(2) 按照废物最小化的原则区分放射性废物与解控废物，不能混同处理，尽量控制和减少放射性废物产生量。

(3) 核医学实践中产生的短寿命放射性废物，尽量利用贮存衰变的方法进行处理，待放射性核素活度浓度满足解控水平后，实施解控。不能解控的放射性废物，应送交有资质的放射性废物收贮或处置机构进行处理。

(4) 建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。

2、固体放射性废物的管理

(1) 固体放射性废物收集

① 固体放射性废物收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内放置专用塑料袋直接收纳废物。

② 含尖刺及棱角的放射性废物，先进行包装整备，再装入废物桶，防止刺破废物袋。

③ 放射性废物每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

(2) 固体放射性废物贮存

① 固体放射性废物利用贮存衰变方式进行处置，暂存时间和总活度不能超过审管部门批准的限制要求。

② 放射性废物间设置独立排风装置，安装高效过滤装置，门外粘贴电离辐射警告标志，采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施，不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

③ 废物暂存间内设置专用容器盛放固体放射性废物袋（桶），不同类别废物应分开存放。贮存容器注明废物信息，包括核素名称、存入日期等信息，并做好记录存档。

(3) 固体放射性废物处理

① 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

A、含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{68}Ga 核素的固体放射性废物暂存时间超过 30 天；

B、含 ^{90}Y 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 和 ^{32}P 核素的固体放射性废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；

C、含有核素 ^{131}I 的固体放射性废物暂存时间超过 180 天。

②不能解控的固体放射性废物按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h ，表面污染水平对 β 和 γ 发射体以及低毒性 α 发射体应小于 4Bq/cm^2 。

③废弃粒籽源、废钼铈发生器和废锆镓发生器在废物间暂存，由厂家回收；退役校准放射源厂家回收或送山西省城市放射性废物库等有资质单位收贮。

④固体放射性废物的存储和处理安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

10.7.2 放射性废液的管理

(1) 放射性废液收集

①核医学科的衰变池拟建于医技急诊楼北侧室外空地，根据长、短半衰期核素的不同，设置 2 个独立衰变池，容积分别为 266.4 m^3 (^{131}I)、 28.5 m^3 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等)，在衰变池前设置化粪池（沉淀池），用以沉淀消化固形物。

②核医学科废液衰变池用于收集服药患者在住院或留观期间的排泄废水、放射性药物操作时洒液清洗废水、操作放射性药物的医护人员清洁废水，事故应急时清洗废水采用备用贮存罐收集。医护人员的生活废水不直接排入衰变池。

③核医学工作场所放射性药物标记、分装、注射后的残留液和含放射性核素的其他废液收集在专用容器中。含有长半衰期核素的放射性废液应单独收集存放。盛放放射性废液的容器表面应张贴电离辐射标志。

④核医学工作场所的上水需配备洗消处理设备（包括洗消液）。控制区和卫生通过间内的淋浴间、盥洗水盆、清洗池等应选用脚踏式或自动感应式的开关，以减少场所内的设备放射性污染。头、眼和面部宜采用向上冲淋的流动水。

⑤放射性废液收集的管道走向、阀门和管道的连接设计成尽可能少的死区，下水道宜短，大水流管道应有标记，避免放射性废液集聚，便于检测和维修。

(2) 放射性废液贮存

①经衰变池和专用容器收集的放射性废液，应贮存至满足排放要求。衰变池池体应坚固、耐酸碱腐蚀、无渗透性、内壁光滑和具有可靠的防泄漏措施。

②核医学科长半衰期衰变池采用为 3 格槽式工艺，通过液位监测自动控制排入，每格交替贮存、衰变和排放废液，排放口预留放射性废液检测口；短半衰期衰变池采用三级推流工艺，设置排放检测池，检测达标后按相关规定方式排放。

③衰变池区域拟设置围栏和电离辐射警示标志，防止无关人员靠近。

(3) 放射性废液排放

①核医学科长半衰期废液 (^{131}I) 采用三级槽式衰变池贮存方式，废液排放应为：含核素 ^{131}I 的放射性废液暂存超过 180 天，监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 β 不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10 Bq/L。

②核医学科短半衰期废液 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 等) 采用三级级推流式衰变池，另前置沉淀池，内设导流墙，后置检测池，放射性废液总排放口总 β 不大于 10 Bq/L，排入医院废水管网。

③放射性废液的暂存和处理应安排专人负责，并建立废物暂存和处理台账，详细记录放射性废液所含的核素名称、体积、废液产生起始日期、责任人员、排放时间、监测结果等信息。（具体分析见 11.2.2 部分）

10.7.3 气态放射性废物的管理

①产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气态放射性废物进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

②定期检查通风系统过滤净化装置的有效性，及时更换失效的过滤器，更换周期不能超过厂家推荐的使用时间。更换下来的过滤器按固体放射性废物进行收集、处理。

③由污染源分析可知，核医学科使用的核素 ^{131}I 和 ^{18}F 等属易挥发性，会产生放射性气溶胶。设置专用负压密封装置，采用碘吸附过滤净化装置独立排风，医护人员进行分装给药为全自动隔室操作，食入、吸入等内照射较小。核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的淋洗、标记、分装和质控在专用手套箱中进行，采用高效活性炭过滤净化装置独立排风；核医学科-1F 和-2F 分别设置了高活区排风系统和低活区排风系统，各房间支管安装止回阀，总管安装高效活性炭过滤净化装置。排风口均设置在高出医技急诊楼顶，尽量远离周围高层建筑的位置，排风口预留气态放射性废物监测口。

10.8 新建介入科 DSA 工作场所分区

新建介入科使用 2 台 DSA 开展诊疗工作，DSA 属于 II 类射线装置，同时 DSA1 室为 ^{90}Y 树脂微球介入输注场所，为乙级非密封放射性物质工作场所。

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

新建介入科将 2 个 DSA 机房列为控制区（■），与机房相邻场所及控制室列为监督区（■）。见下图 10-3。

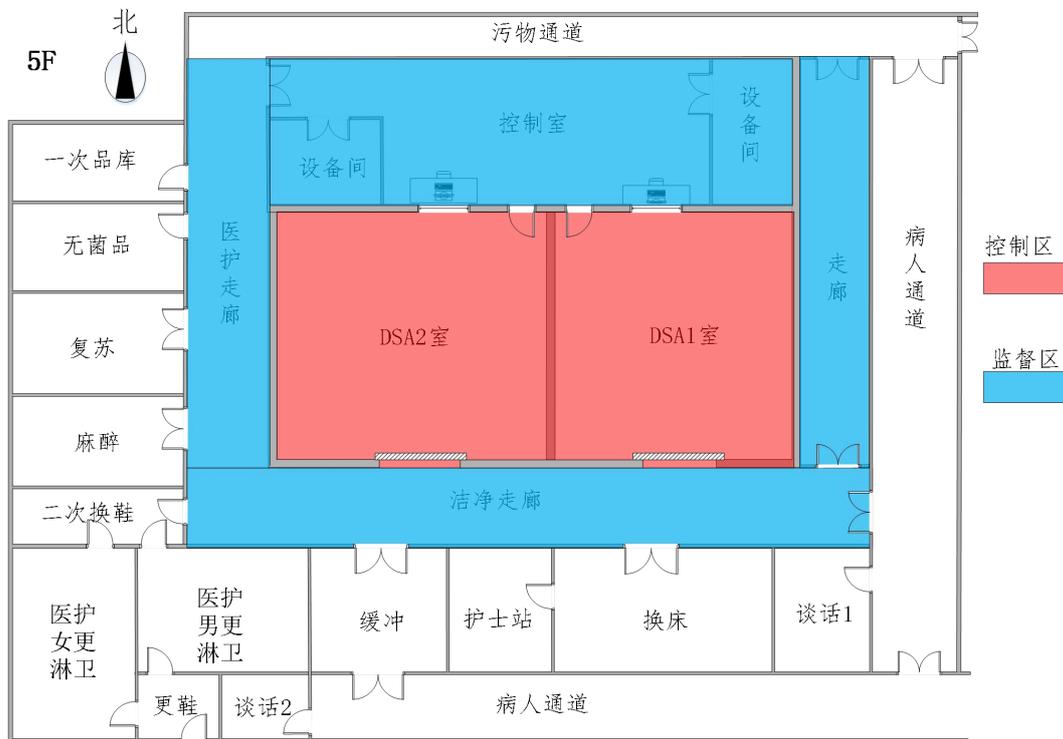


图 10-5 新建介入科 DSA 工作场所辐射防护分区图

10.9 介入科 DSA 工作场所安全防护设施

1、DSA 设备固有安全设施

- (1) 装有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减小泄漏辐射；
- (2) 采用栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉与余辉，起到消除软 X 射线、提高有用射线品质并减小脉冲宽度作用。
- (3) 采用光谱过滤技术：在 X 射线管头或影响增强器的窗口处放置合适过滤板，以多消除软 X 射线以及减少二次散射，优化有用 X 射线谱。设备提供适应设备不同应用时可以选用的

各种形状与规格的准直器隔板和过滤板。影响增强器前面可酌情配置各种规格的滤线栅，以减少散射影响。

(4) 采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度；并能明显地减少透视剂量。

(5) 采用图像冻结技术：每次透视的最好一帧图像被暂存并保留于监视器上显示，即称之为图像冻结。充分利用此方法可以明显缩短总透视时间，减少不必要的照射。

(6) 急停设施：

DSA 设备配置用于射线触发的脚闸；当踩下脚闸时可以控制射线开关。

DSA 设备用于控制支架、检查床以及成像系统的控制台上配备紧急关闭按钮，使用紧急关闭按钮，系统可以在紧急情况下断电。

设备间（机房）安装电源总开关，总开关可以切断整个系统的电源（电源断电）。在操作间设置急停按钮。

2、拟采取的安全防护设施

介入科 DSA1 室和 DSA2 室辐射安全防护设施包括安全联锁装置、警示设备、急停设施、对讲系统装置及其它安全辅助设备。

(1) 场所设施

① 警示标志：DSA 机房门上均设置工作指示灯及电离辐射警告标语。

② 安全联锁：DSA 机房病人通道门均采取电动门，当设备工作时，机房门外工作状态指示灯亮，实现门灯联锁。

③ 监视对讲系统：DSA 控制室设观察窗和语音对讲系统，便于实时监控及沟通。

④ 通风设施：DSA 机房均采用机械式通风系统，进风口均位于机房北墙上部，室内排风口均位于机房南墙下部，通过风机管道由上部排风室外。

⑤ 防挤压措施：病人通道门入口电动防护门均设置红外防挤压装置。

⑥ DSA1 室配备 2 个有屏蔽的放射性废物桶。

(2) 监测设备

① 对辐射工作人员每人配置个人剂量计；

② 介入科 DSA1 室应配备 1 台表面污染仪和 1 台便携式辐射监测仪。

(3) 其它安全防护设施

介入科医护人员及患者配置相应的防护用品。配置要求见表 10-6。

表 10-5 DSA 室个人防护用品和辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检者
	个人防护用品	辅助防护设施	
介入治疗室	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、 铅橡胶手套、铅防护眼镜、 铅橡胶帽子（选）	铅悬挂防护屏、铅防护帘 床侧防护帘、床侧防护屏 移动铅屏风（选）	铅橡胶围裙或方巾、铅橡胶 颈套、铅橡胶帽子（选）

医院计划本项目建设完成后，拟新增个人防护用品及辅助防护设施

表 10-6 本项目医院拟配备防护用品情况

名称	用途	佩戴人群	铅当量 mmPb	数量	标准要求 mmPb
铅橡胶铅衣	全身防护	辐射工作 人员	0.5	10 件	≥0.25
铅橡胶颈套	保护甲状腺		0.5	10 件	≥0.5
铅防护眼镜	保护眼晶体		0.5	8 副	≥0.25
铅橡胶帽子	保护头部		0.5	10 件	≥0.25
铅围裙	性腺防护	患者和受 检者	0.5	2 件	≥0.5
铅橡胶颈套	保护甲状腺		0.5	2 件	≥0.5
铅橡胶帽子	保护头部		0.5	2 件	≥0.25
铅悬挂防护屏	全身防护	辅助防护 设施	0.5	2 块	≥0.25
床侧防护帘			0.5	2 块	≥0.25
移动 铅防护屏风	全身防护			2.0	2 块

医院拟计划新增配备 4 副介入防护手套，保护介入辐射工作人员手部，介入防护手套铅当量为 0.025mmPb，满足不小于 0.025mmPb 的要求。

个人防护用品在存放时应采用平铺或悬挂，避免折叠，以防造成损坏，同时应定期对防护用品有效性进行检查，确保防护用品防护效果。

综上所述，本项目已配备的个人防护用品、辅助防护设施和拟新增配备介入防护手套的铅当量均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）要求。

10.10 介入科 DSA 的三废治理

1、废气：DSA 在曝光过程中产生臭氧和氮氧化物气体，产生量较小，经机房排风装置直接排出室外，不会对环境造成明显影响。

2、废水：介入科 DSA 采用数字成像，不使用显影液、定影液，无工作废水排放。医护人员产生的生活污水依托医院整体污水处理设施处置。

3、固废：

①介入科 DSA 采用数字成像，不产生相关固废。常规介入治疗手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，采用专门的收集容器集中回收后，按医疗废物处理。

②介入科 DSA1 室开展核素 ^{90}Y 介入治疗，会产生固体放射性废物，收集于放射性废物桶中，转运至核医学科（B2）放射性废物间贮存和处置。

4、噪声：机房空调产生的噪声，噪声源等级较低，不会对周围环境造成明显影响。

综上，新建介入科 DSA1 室和 DSA2 室产生的各项污染物均采取了有效的辐射防护和污染防治措施，满足国家相关环境管理要求。

10.11 本项目医用 X 射线装置机房辐射屏蔽措施

《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中机房屏蔽厚度及面积要求见下表：

表 10-7 X 射线机房的屏蔽防护铅当量厚度及机房面积要求

机房类型	有用线束方向 铅当量（mm）	非有用线束方向 铅当量（mm）	机房内最小 有效使用面积（m ² ）	机房内最小 单边长度（m）
DSA 机房	2.0	2.0	/	/
CT 机房	2.5		30	4.5

本报告项目 X 射线机房的屏蔽防护情况见表 10-8 所示。

表 10-8 X 射线机房屏蔽材料及厚度情况一览表

机房	机房尺寸	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	等效铅当量 mmPb	标准要求 mmPb	评价
介入科 (5F) DSA 1-2 室	DSA1 室: 南北: 8.9m 东西: 6.6m 面积: 58.74m ² 2 室: 南北: 8.9m 东西: 7.6m 面积: 67.64m ²	墙体	方管龙骨架+3mmPb 硫酸钡复合板	3.0	2.0	符合
		楼上	100mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板	4.0	2.0	符合
		楼下	250mm 混凝土	2.5	2.0	符合
		受检者出入口	3mm 铅电动推拉门	3.0	2.0	符合
		医护门	3mm 铅自动平开门	3.0	2.0	符合
		观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0	2.0	符合
核医学 (B2) PET /CT 检查室	南北: 9.07m 东西: 7.86m 面积: 71.29m ²	墙体	240mm 实心砖+2mmPb 硫酸钡, 其中西墙同 PET 注射后候诊室 2 为 370mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡; 东墙同 PET 注射后候诊室 1 为 240mm 实心砖+20mmPb 硫酸钡;	4.0-23	2.5	符合
		楼上	250mm 混凝土+4mmPb 硫酸钡复合板	6.5	2.5	符合
		楼下	250mm 混凝土	2.5	2.5	符合
		患者门	12mm 铅电动平移门	12.0	2.5	符合
		医护门	12mm 铅手动平开门	12.0	2.5	符合
		观察窗	12mmPb 铅玻璃	12.0	2.5	符合
核医学 (B2) SPECT /CT 1-2 室	1 室: 南北: 8.1m 东西: 8.1m 面积: 65.6m ² 2 室: 南北: 8.1m 东西: 8.5m 面积: 68.9m ²	墙体	240mm 实心砖+30mm 硫酸钡水泥	3.5	2.5	符合
		楼上	250mm 混凝土+3mmPb 硫酸钡复合板	5.5	2.5	符合
		楼下	250mm 混凝土	2.5	2.5	符合
		患者门	5mm 铅电动平移门	5.0	2.5	符合
		医护门	5mm 铅手动平开门	5.0	2.5	符合
		观察窗	5mmPb 铅玻璃	5.0	2.5	符合

注: 本项目 DSA1 室和 DSA2 室四周墙体及各防护门、观察窗防护情况一致; SPECT/CT1 室和 SPECT/CT2 室四周墙体及各防护门、观察窗防护情况一致。

综上, 核医学科 (B2) PET/CT 检查室、SPECT/CT1 室和 SPECT/CT2 室的屏蔽防护、有效使用面积、最小单边长度等均满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020) 中的规定要求。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 土建、装修施工的环境影响

大同市第三人民医院医技急诊楼目前正在建设，设计为地下三层和地上七层，主体工程已环评。本报告项目的建设主要为：新建核医学科和介入室的各功能用房进行防护装修及设备安装，对环境的影响主要是防护装修和设备安装过程中产生的噪声、施工废水、粉尘及装修垃圾等，因此，为避免施工对周围环境造成影响，要求合理安排施工时间，对噪声较大的施工，安排在非工作时间进行；对装修、衰变池建设等产生的建筑垃圾进行合理处置，运至环卫部门指定地点倾倒；施工产生少量废水依托医院现有下水系统收集处置。在采取以上措施后，对周围环境影响较小。

11.1.2 设备安装调试的环境影响

在设备、装置安装的过程中，可能产生少量废弃物（如废材料、废纸张、废包装材料、废塑料薄膜等），其中可回收的部分收集后回收处理，不可回收部分收集后运至环卫部门指定地点倾倒。

设备的安装调试应请专业人员进行，医院方不得自行拆卸、安装设备，安装调试期间操作人员必须持证上岗并采取足够的个人防护措施。

11.2 本报告项目在运营期对环境的影响

11.2.1 辐射环境影响分析

本报告为大同市第三人民医院在新建医技急诊楼核技术利用项目，包括：新建核医学科（B2）为乙级非密封放射性物质工作场所、新建介入科（5F）使用II类射线装置（2台DSA）及使用⁹⁰Y树脂微球开展介入治疗项目。

1、新建核医学科（B2）辐射环境影响分析

医院计划在医技急诊楼 B2 新建核医学科，拟使用 9 种放射性核素 ^{99m}Tc、¹⁸F、⁶⁸Ge（⁶⁸Ga）、¹³¹I、⁸⁹Sr、¹⁵³Sm、³²P、⁹⁰Y 和 ¹²⁵I 粒籽源，为乙级非密封放射性物质工作场所，配备了 X 射线装置 1 台 PET/CT 和 2 台 SPECT/CT 诊断显影设备，主要辐射污染因子是 X、 γ 、 β 射线、韧致辐射和表面污染，产生放射性三废。（考虑叠加影响）

(1) 剂量估算公式

① 放射性核素关注点剂量率计算公式
$$H_c = \frac{A \cdot \Gamma}{R^2} \cdot 10^{-X/TVL}$$

式中：Hc — 关注点剂量率 (μSv/h)

A — 放射源的活度 (MBq)；

Γ — 照射量率常数 (μSv·m²/MBq·h)；

R — 关注点到γ源的距离 (m)；

X — 屏蔽厚度 (mm)；

TVL — 屏蔽材料的什值层 (mm)。

表 11-1 核医学科使用核素的相关参数

核素	半衰期	照射量率常数 μSv·m ² /MBq·h		TVL (mm)				最大用药量 (MBq/人)
		裸源	体源	铅	砖	砷	钡水泥	
				11.3g/cm ³	1.65g/cm ³	2.35g/cm ³	2.79g/cm ³	
^{99m} Tc	6.02h	0.0303	0.0207	1	160	110	105	740
¹³¹ I	8.02d	0.0595	0.0583	11	240	170	159	5550 甲癌
								555 甲亢
¹⁸ F	109.8min	0.1430	0.092	16.6	263	176	173	555
¹²⁵ I	59.4d	0.0165	/	0.1	20	10	2	5920

② CT 机房关注点剂量率计算公式：

$$H_c = D_0 \cdot d_0^2 \cdot T \cdot W \cdot B / R^2$$

式中：Hc — 关注点剂量率 (μGy/h)；

D₀ — 已知距离 d₀ 处的剂量率 (μGy/h)；

d₀ — 已知剂量点位与 X 射线源中心的距离 (1m)；

T — 居留因子；

W — 在一定条件下的周归一工作负荷 (层/周)；

B — 关注点屏蔽透射因子；

R — 关注点与 X 射线源中心的距离 (m)。

(2) 辐射剂量率计算结果

① 诊断用射线装置 CT 机房周围剂关注点辐射量率

新建核医学科拟使用 2 台 SPECT/CT 和 1 台 PET/CT 设备，CT 部分参数均为 150kv/1000mA，周围关注点剂量率计算参考西门子厂家的 CT (150kV/1300mA) 剂量分布图，扫描条件为：150kV/1mAs、0.6mm×96 层 32cm 体模。见图 11-1：

Local dose distribution through the system axis in the horizontal and vertical planes. Scanning was performed using a maximum collimation of 96 x 0.6 mm (57.6 mm) at the maximum tube voltage 150 kV. A cylindrical PMMA phantom measuring 32 cm in diameter and 15 cm in length was used for the scatter radiation measurement. The phantom was centered on the tomographic plane.

Fig. 20: Horizontal local dose distribution (measurement values in microGy/mAs)

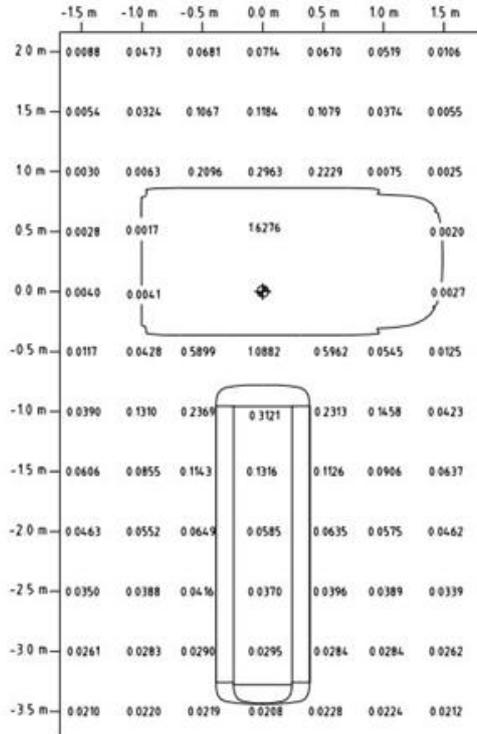


Fig. 21: Vertical local dose distribution (measurement values in microGy/mAs)

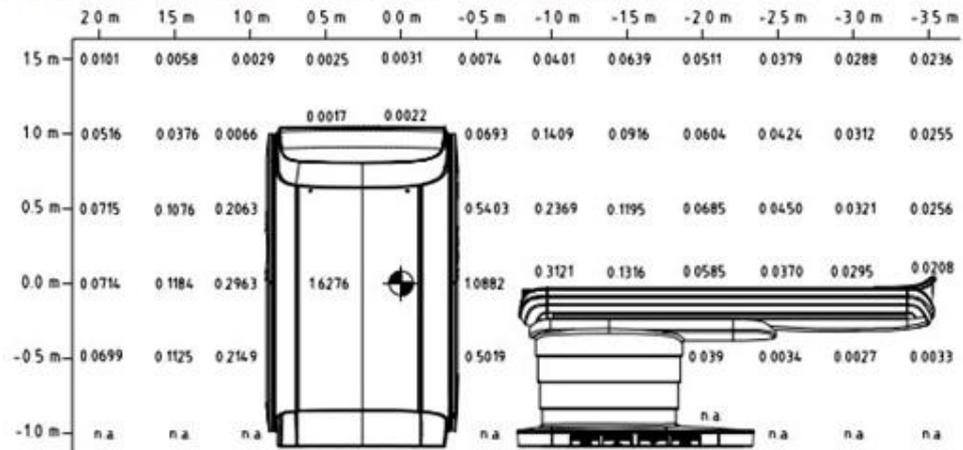


图 11-1 核医学科诊断设备 CT 部分参考的 64 排 CT 杂散辐射剂量分布图

表 11-2 核医学科设备 CT 设计工作扫描条件表

扫描部位	检查人数 (人数/周)	扫描条件设置			
		kVp	mAs	层厚 (mm)	层数目
体部	100	120	150	5	60
头部	100	120	200	6	24

核医学科设备 CT 部分每周工作量进行参考扫描条件归一化因子校正如下：

a、体部扫描条件归一成参考条件下的周归一化工作负荷：

$$(150\text{mAs}/1\text{mAs}) \times (5\text{mm}/57.6\text{mm}) \times 60 \text{ 层/人次} \times 100 \text{ 人次/周} = 78125 \text{ 层/周};$$

b、头部扫描条件归一成参考条件下的周归一化工作负荷：

$$(200\text{mAs}/1\text{mAs}) \times (6\text{mm}/57.6\text{mm}) \times 24 \text{ 层/人次} \times 100 \text{ 人次/周} \times 0.5 = 25000 \text{ 层/周};$$

c、体部和头部归一成参考条件下的周归一化工作负荷：

$$W = 78125 \text{ 层/周} + 25000 \text{ 层/周} = 103125 \text{ 层/周}。$$

参考 CT 剂量分布图，该参考条件下 1m 处剂量取 $0.3121 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$ 。

新建核医学科 PET/CT 室、SPECT/CT1 室和 SPECT/CT2 室机房布局见下图 11-2、11-3：

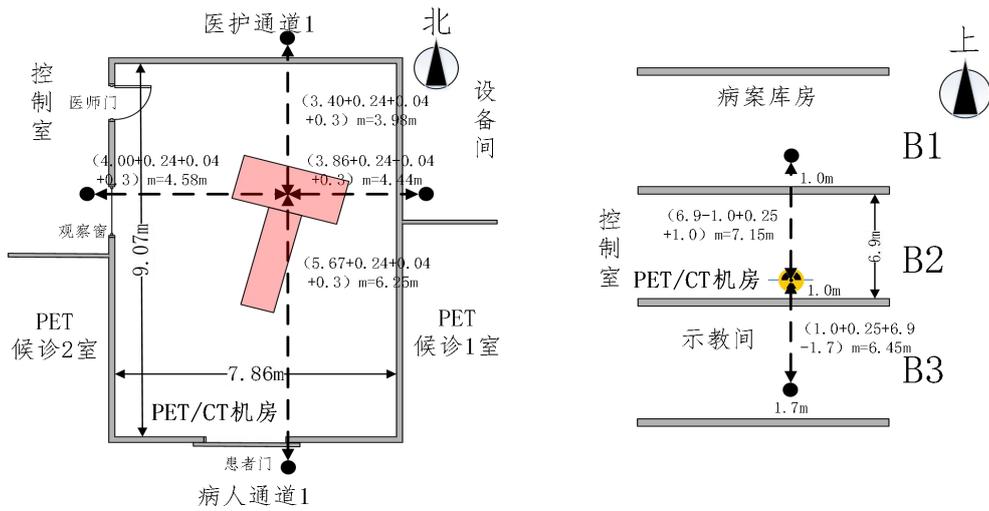


图 11-2 PET/CT 室关注点分布图

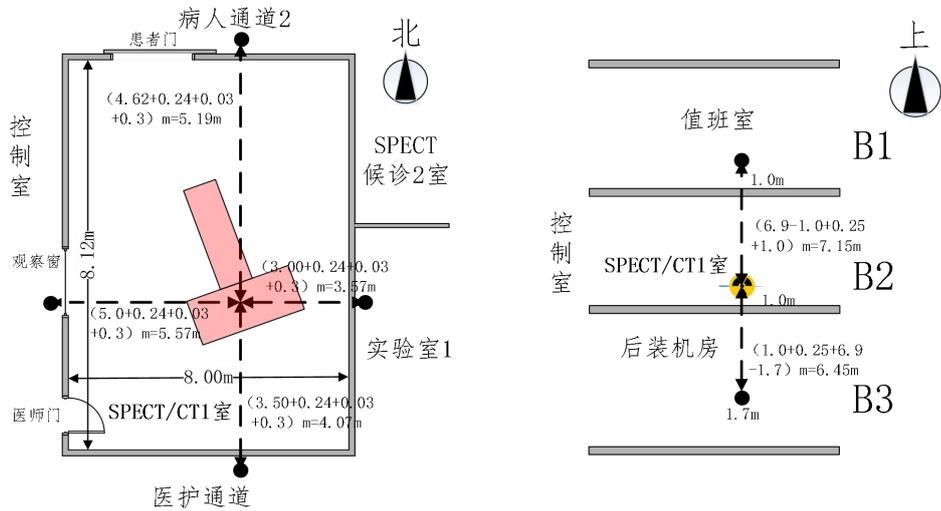


图 11-3 SPECT/CT1 室关注点分布图

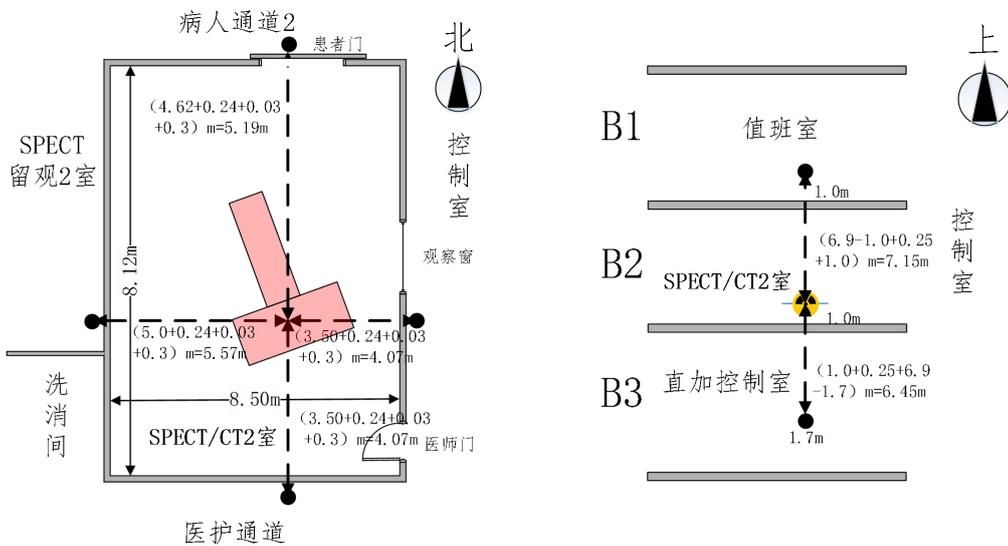


图 11-4 SPECT/CT2 室关注点分布图

表 11-3 核医学科诊断设备 CT 机房关注点剂量率计算结果 (CT 工作时)

机房	屏蔽体	X (mmPb)	B	D0 ($\mu\text{Gy}/\text{层}$)	W (层/周)	T	R (m)	Hc ($\mu\text{Gy}/\text{h}$)
PET /CT 室	东墙	4 (设备间)	1.500E-05	0.3121	103125	1	4.44	0.0245
		22 (候诊室 1)	2.61E-21			1	4.44	4.3E-18
	南墙	4	1.500E-05			0.2	6.25	0.0025
	西墙	4 (控制室)	1.500E-05			1	4.58	0.0230
		23 (候诊室 2)	3.49E-22			1	4.58	5.4E-19
	北墙	4	1.500E-05			0.2	3.98	0.0061
	楼上	6.5	8.899E-08			0.2	7.15	0.0001
	楼下	2.5	0.0004			1	6.45	0.3017
	患者门	12.0	1.500E-05			0.2	6.25	0.0025
	医护门	12.0	1.500E-05			1	4.58	0.0230
观察窗	12.0	1.500E-05	1	4.58	0.0230			
SPECT /CT1 室	东墙	3.5	4.322E-05	1	3.57	0.1092		
	南墙	3.5	4.322E-05	0.2	4.07	0.0168		
	西墙	3.5	4.322E-05	1	5.57	0.0448		
	北墙	3.5	4.322E-05	0.2	5.19	0.0103		
	楼上	5.5	6.785E-07	1	7.15	0.0004		
	楼下	2.5	0.0004	1	6.45	0.3017		
	患者门	5.0	1.887E-06	0.2	5.19	0.0005		
	医护门	5.0	1.887E-06	1	5.57	0.0020		
	观察窗	5.0	1.887E-06	1	5.57	0.0020		
SPECT /CT2 室	东墙	3.5	4.322E-05	1	4.07	0.0840		
	南墙	3.5	4.322E-05	0.2	4.07	0.0168		
	西墙	3.5	4.322E-05	1	5.57	0.0448		
	北墙	3.5	4.322E-05	0.2	5.19	0.0103		
	楼上	5.5	6.785E-07	1	7.15	0.0004		
	楼下	2.5	0.0004	1	6.45	0.3017		
	患者门	5	1.887E-06	0.2	5.19	0.0005		
	医护门	5	1.887E-06	1	4.07	0.0037		
	观察窗	5	1.887E-06	1	4.07	0.0037		

综上所述,新建核医学科显像设备中 CT 部分工作时,各机房周围关注点最大剂量率均为: 0.3017 $\mu\text{Gy}/\text{h}$, 小于标准规定限值 2.5 $\mu\text{Gy}/\text{h}$, 机房周围辐射剂量影响很小。

② 新建核医学科各功能设施及房间周围关注点剂量计算

本报告主要关注核医学科使用 ^{99m}Tc 和 ^{18}F 的分装、注射、候诊和显影, ^{131}I 甲癌和甲亢治疗等环节的剂量分析, ^{89}Sr 和 ^{32}P 为 β 射线, 经适当屏蔽可忽略。

A、 ^{18}F 分装标记、注射、候诊及显影等过程中关注点剂量率计算结果

核素 ^{18}F 药品为外购成品药物, 单人最大药量为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq/人}$ (15mCi), 每天接诊 40 人, 分装标记手套箱中 ^{18}F 总活度为 $2.22 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。关注点剂量估算见下表:

表 11-4 ^{18}F (555MBq) 显影机房周围剂量率计算结果

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$			剂量限值 $\mu\text{Sv/h}$	结果 评价
					^{18}F	CT	叠加		
PET /CT 室	东墙	设备间	2+2	4.44	1.49	0.0245	1.51	2.5	符合
		候诊室 1	2+20	4.40	0.12	4.3E-18	0.12	2.5	符合
	南墙	病人通道 1	2+2	6.25	0.75	0.0025	0.75	2.5	符合
	西墙	控制室	2+2	4.58	1.40	0.0230	1.42	2.5	符合
		候诊室 2	3+20	4.58	0.10	5.4E-19	0.10	2.5	符合
	北墙	医护通道 1	2+2	3.98	1.85	0.0061	1.86	2.5	符合
	楼下	B3 示教室	2.5	7.15	0.71	0.0001	0.71	2.5	符合
	楼上	B1 病案储存间	6.5	6.45	0.50	0.3017	0.80	2.5	符合
	患者门	病人通道 1	12	6.25	0.25	0.0025	0.25	2.5	符合
	医护门	控制室	12	4.58	0.46	0.0230	0.48	2.5	符合
观察窗	控制室	12	4.58	0.46	0.0230	0.48	2.5	符合	
PET /MR 检 查室	东墙	控制室	2+2	4.94	1.20	/	/	2.5	符合
		候诊室 2	3+20	4.94	0.09	/	/	2.5	符合
	南墙	病人通道 1	2+2	5.04	1.15	/	/	2.5	符合
	西墙	PET/MR 设备间	2+2	4.57	1.40	/	/	2.5	符合
	北墙	医护走廊	2+2	5.11	1.12	/	/	2.5	符合
	楼下	B3 预留房间	2.5	7.15	0.71	/	/	2.5	符合
	楼上	B1 西药存储间	6.5	6.45	0.50	/	/	2.5	符合
	患者门	病人通道 1	12	5.04	0.38	/	/	2.5	符合
	医护门	控制室	12	4.94	0.40	/	/	2.5	符合
观察窗	控制室	12	4.94	0.40	/	/	2.5	符合	
医师帮助患者摆位			0.5	1.0	47.6	/	/	/	/

注: 医师为服药患者摆位时, 距离 1m, 穿戴 0.5mmPb 防护服, 按年有效剂量评价。

表 11-5 核素 ^{18}F 诊断各功能区的周围剂量率计算结果

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	剂量限值 $\mu\text{Sv/h}$	结果评价
分装室	手套箱	操作位	60	22200	1.0	0.77	2.5	符合
		其他方位	60		0.5	3.09	25	符合
	东墙	高活区通道	6+60		1.5	0.15	2.5	符合
	南墙	高活区通道	6+60		1.5	0.15	2.5	符合
	西墙	二更室	6+60		1.0	0.34	2.5	符合
	北墙	污物间	6+60		1.5	0.15	2.5	符合
	防护门	高活区通道	10+60		1.5	0.09	10	符合
	楼下	B3 加速器机房	2.5+60		6.5	0.01	2.5	符合
	楼上	B1 药品库房	6.5+60		6.5	0.01	2.5	符合
PET 注射室	注射位	医师躯干	50	555	0.5	0.31	2.5	符合
		医师手部	2+50		0.1	5.85	/	/
		医师眼晶	0.5+25		0.5	9.24	/	/
	东墙	清洁间	2+20		2.5	0.60	2.5	符合
	南墙	高活卫生通道	2+20		1.5	1.67	2.5	符合
	北墙	病人通道 1	2+20		1.5	1.67	10	符合
	防护门	病人通道 1	15		1.5	4.40	10	符合
	楼下	B3 医护走廊	2.5		6.5	1.33	2.5	符合
	楼上	B1 医护走廊	6.5		6.5	0.76	2.5	符合
PET 候诊 1	东墙	接诊走廊	2+20	1110	1.8	1.49	2.5	符合
	南墙	病人通道 1	2+20		2.0	1.21	10	符合
	西墙	PET/CT 室	2+20		1.8	1.49	2.5	符合
	北墙	PET/CT 设备	3+20		1.5	1.87	2.5	符合
	防护门	病人通道 1	10		2.0	6.38	10	符合
	楼下	B3 检测实验室	2.5		6.5	1.71	2.5	符合
	楼上	B1 计算机房	11.5		6.5	0.49	2.5	符合
PET 候诊 2	东墙	PET/CT 检查室	3+20	1110	3.9	0.28	2.5	符合
	南墙	病人通道 1	3+20		2.0	1.05	10	符合
	西墙	PET/MR 检查室	3+20		4.0	0.26	2.5	符合
	北墙	PET 控制室	3+20		1.8	1.30	2.5	符合
	防护门	病人通道 1	10		2.0	6.38	10	符合
	楼下	B3 模拟 CT	2.5		6.5	1.71	2.5	符合
	楼上	B1 药库房	11.5		6.5	0.49	2.5	符合
PET 留观室	东墙	PET/MR 设备间	2+20	1110	4.0	0.30	2.5	符合
	南墙	病人通道 1	3+20		2.5	0.67	10	符合
	西墙	病人出院通道	2+20		4.0	0.30	2.5	符合
	北墙	医护更淋卫	3+20		2.5	0.67	2.5	符合
	防护门	病人通道 1	10		2.5	4.08	10	符合
	楼下	B3 加速器机房	2.5		6.5	1.71	2.5	符合
	楼上	B1 预留房间	11.5		6.5	0.49	2.5	符合

B、钼铯发生器进行 ^{99m}Tc 的淋洗环节

根据钼铯发生器出厂要求须有自屏蔽装置，距离钼铯发生器表面 5cm 的最大剂量率为 150 μSv/h。在手套箱 2（5mmPb）进行淋洗，核素 ^{99m}Tc 值层为 34mmPb，通过距离反平方关系可计算淋洗过程中距离手套箱 100cm 操作位的辐射剂量率为：

$$D_c = 150 \times 5^2 \div 100^2 \times 10^{-5/34} = 1.07 \mu\text{Sv/h}$$

医护人员操作位的辐射剂量小于 2.5 μSv/h 剂量约束值

C、^{99m}Tc 分装标记、注射、候诊及显影等过程中关注点剂量率计算结果

通常患者 ^{99m}Tc 最大药量：7.4 × 10⁸Bq/人，^{99m}Tc 发生器（1.11 × 10¹⁰Bq/柱）按淋洗率 90% 计算，每次最大淋洗 ^{99m}Tc 总活度为：9.99 × 10⁹Bq。

表 11-6 核素 ^{99m}Tc（740MBq）显影机房的周围剂量率计算结果（叠加 CT 影响）

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	距离 m	剂量率 μSv/h			剂量限值 μSv/h	结果 评价
					^{99m} Tc	CT	叠加		
SPECT /CT 检 查 1 室	东墙	SPECT 注射后 候诊室 2	2+1.5	3.57	0.0004	0.1092	0.11	2.5	符合
	南墙	医护走廊	2+1.5	4.07	0.0003	0.0168	0.02	2.5	符合
	西墙	控制室	2+1.5	5.57	0.0002	0.0448	0.04	2.5	符合
	北墙	病人通道 2	2+1.5	5.19	0.0002	0.0103	0.01	2.5	符合
	楼下	B3 后装机房	2.5	7.15	0.0009	0.0004	<0.01	2.5	符合
	楼上	B1 值班室	5.5	6.45	1.164E-06	0.3017	0.30	2.5	符合
	患者门	病人通道 2	5	5.19	5.687E-06	0.0005	<0.01	2.5	符合
	医护门	控制室	5	5.57	4.937E-06	0.0020	<0.01	2.5	符合
	观察窗	控制室	5	5.57	4.937E-06	0.0020	<0.01	2.5	符合
SPECT /CT 检 查 1 室	东墙	控制室	2+1.5	4.07	0.0003	0.0840	0.08	2.5	符合
	南墙	医护走廊	2+1.5	4.07	0.0003	0.0168	0.02	2.5	符合
	西墙	SPECT 留观 2	2+1.5	5.57	0.0002	0.0448	0.05	2.5	符合
	北墙	病人通道 2	2+1.5	5.19	0.0002	0.0103	0.01	2.5	符合
	楼下	B3 直加控制室	2.5	7.15	0.0009	0.0004	<0.01	2.5	符合
	楼上	B1 值班室	5.5	6.45	1.164E-06	0.3017	0.30	2.5	符合
	患者门	病人通道 2	5	5.19	5.687E-06	0.0005	<0.01	2.5	符合
	医护门	控制室	5	4.07	9.247E-06	0.0037	<0.01	2.5	符合
	观察窗	控制室	5	4.07	9.247E-06	0.0037	<0.01	2.5	符合
医师帮助患者摆位			0.5	1.0	4.84	/		/	/

注：SPECT/CT2 室与 1 室类同；为患者摆位时，距离 1m，穿 0.5mmPb 防护服，按年有效剂量评价。

表 11-7 核素 ^{99m}Tc 诊断各功能区周围剂量率计算结果

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	剂量限值 $\mu\text{Sv/h}$	结果 评价
发生器室	手套箱	操作位	10	9990	1.0	3.03E-08	2.5	符合
		其他方位	10		0.3	3.36E-07	25	符合
	东墙	污物间 1 /分装室	6+10		1.4	1.54E-14	2.5	符合
	南墙	二更间	6+10		2.8	3.86E-15	2.5	符合
	西墙	锝发生器室	6+10		1.4	1.54E-14	2.5	符合
	北墙	病人通道 1	7+10		0.5	1.21E-14	2.5	符合
	防护门	二更间	15+10		2.8	3.86E-24	2.5	符合
	楼下	B3 通道	2.5+10		6.5	2.27E-12	2.5	符合
	楼上	B1 通道	6.5+10		6.5	2.27E-16	2.5	符合
SPECT 注射室	注射位	医师躯干	10	740	0.5	8.97E-09	2.5	符合
		医师手部	2.0		0.1	22.4	/	/
		医师眼晶	10		0.5	8.90E-09	/	/
	东墙	抢救 1 室	2+4		1.4	1.14E-05	2.5	符合
	南墙	病人通道 2	2+4		2.3	4.24E-06	10	符合
	西墙	质控室	2+4		1.4	1.14E-05	2.5	符合
	防护门	病人通道 2	4		2.3	0.0004	10	符合
	楼下	B3 加速器机房	2.5		6.5	0.0017	2.5	符合
	楼上	B1 药品库房	2.5+2		6.5	1.68E-05	2.5	符合
SPECT 注射后候诊 1 室	东墙	敷贴器制备间	2+1.5	1480	2.0	0.0024	2.5	符合
	南墙	病人通道 2	2+1.5		1.4	0.0049	10	符合
	西墙	SPECT 留观 1	2+1.5		2.0	0.0024	2.5	符合
	北墙	污物间 2	2+1.5		1.4	0.0049	2.5	符合
	防护门	病人通道 2	4		1.4	0.0016	10	符合
	楼下	B3 候诊区	2.5		6.5	0.0022	2.5	符合
	楼上	B1 计算机房	2.5+2		6.5	2.29E-05	2.5	符合
SPECT 注射后候诊 2 室	东墙	示教阅片室	2+1.5	1480	1.5	2.29E-05	2.5	符合
	南墙	实验室 1	2+1.5		2.4	0.0043	2.5	符合
	西墙	SPECT 检查 1 室	2+1.5		1.5	0.0017	2.5	符合
	北墙	病人通道 2	2+1.5		2.4	0.0043	10	符合
	防护门	病人通道 2	4		2.4	0.0017	10	符合
	楼下	B3 水冷机房	2.5		6.5	0.0005	2.5	符合
	楼上	B1 通道	2.5+2		6.5	0.0023	2.5	符合

表 11-7 核素 ^{99m}Tc 诊断功能区周围剂量率计算结果（续表）

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	剂量限值 $\mu\text{Sv/h}$	结果评价
SPECT 留观 1 室	东墙	SPECT 候诊 1 室	2+1.5	1480	1.6	0.0038	2.5	符合
	南墙	病人通道 2	2+1.5		3.1	0.0010	10	符合
	西墙	病人通道 2	2+1.5		1.6	0.0038	10	符合
	北墙	病人通道 1	2+1.5		3.1	0.0010	10	符合
	防护门	病人通道 2	4		3.1	0.0003	10	符合
	楼下	B3 直加控制室	2.5		6.5	0.0023	2.5	符合
	楼上	B1 药品库房	2.5+2		6.5	2.29E-05	2.5	符合
SPECT 留观 2 室	东墙	SPECT 检查 2 室	2+1.5		2.1	0.0022	2.5	符合
	南墙	清洗间	2+1.5		2.4	0.0017	2.5	符合
	西墙	病人通道	2+1.5		2.1	0.0022	10	符合
	北墙	病人通道 2	2+1.5		2.4	0.0017	10	符合
	防护门	病人通道 2	4		2.4	0.0005	10	符合
	楼下	B3 水冷机房	2.5		6.5	0.0023	2.5	符合
	楼上	B1 办公室	2.5+2		6.5	2.29E-05	2.5	符合
抢救室 1	东墙	男更淋卫	2+4	740	2.0	0.0001	2.5	符合
	南墙	病人通道 2	2+4		1.2	0.0001	10	符合
	西墙	SPECT 注射室	2+4		2.0	0.0001	2.5	符合
	北墙	高活区通道	2+4		1.2	0.0001	10	符合
	防护门（北）	高活区通道	4		1.2	0.0011	10	符合
	防护门（南）	病人通道 2	4		1.2	0.0011	10	符合
	地板	B3 人员通道	2.5		6.5	0.0011	2.5	符合
	顶板	B1 病案库存储区	2.5+2		6.5	1.15E-05	2.5	符合

D、 ^{131}I 治疗甲亢和甲癌过程中关注点剂量率计算结果

核素 ^{131}I 为外购成品药物，通常，治疗甲亢患者药量为 $5.55 \times 10^8 \text{Bq/人}$ （15mCi），最大接诊 10 人/日，治疗甲癌患者药量为 $5.55 \times 10^9 \text{Bq/人}$ （150mCi），接诊 6 人/日， ^{131}I 手套箱按甲癌患者单次分装最大药量计算，总活度约： $3.33 \times 10^{10} \text{Bq/次}$ 。

表 11-8 ¹³¹I 治疗药物功能区周围剂量率计算结果表

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 μSv/h	剂量限值 μSv/h	结果 评价
¹³¹ I 自动分装室	手套箱	操作位	50	33300	0.3	0.6270	2.5	符合
		其他方位	50		0.3	0.6270	25	符合
	东墙	缓冲区	23+50		1.9	0.0001	2.5	符合
	南墙	污物间 2	23+50		2.0	0.0001	2.5	符合
	西墙	自助服药室	23+50		1.9	0.0001	2.5	符合
	北墙	病人通道 3	23+50		1.0	0.0005	10	符合
	防护门	缓冲区	10+50		1.9	0.0019	2.5	符合
	楼下	B3 停车位	2.5+50		6.5	0.0008	2.5	符合
	楼上	B1 停车位	11.5+50		6.5	0.0001	2.5	符合
储源 2 室	东墙	污物间 3	22+40	1.6	0.0018	2.5	符合	
	南墙	停车位	23+40	0.7	0.0076	2.5	符合	
	西墙	被服间（污）	23+40	1.6	0.0015	2.5	符合	
	北墙	自助服药室	23+40	0.7	0.0076	2.5	符合	
	防护门	分装质控室	15+40	0.7	0.0404	2.5	符合	
	楼下	B3 停车位	2.5+40	6.5	0.0064	2.5	符合	
	楼上	B1 停车位	11.5+40	6.5	0.0010	2.5	符合	
患者自助服碘室	东墙	¹³¹ I 自动分装室	3+20	5550	1.4	1.367	2.5	符合
	南墙	储源 2 室	3+20		1.1	2.214	2.5	符合
	西墙	被服间（污）	3+20		1.4	1.367	2.5	符合
	北墙	病人通道 3	3+20		1.1	2.214	10	符合
	防护门	病人通道 3	20		1.1	4.148	10	符合
	传递窗	¹³¹ I 自动分装室	25		1.4	0.8991	2.5	符合
	楼下	B3 候诊区	2.5+5		6.5	1.070	2.5	符合
	楼上	B1 停车位	2.5+9		6.5	0.7039	2.5	符合
甲癌病房 1	东墙	抢救室 2	3+20	1.8	0.8100	2.5	符合	
	南墙	停车位	3+20	2.0	0.6561	2.5	符合	
	西墙	甲癌病房 2	2+20	1.8	0.9987	2.5	符合	
	北墙	病人通道 3	2+20	2.0	0.8089	10	符合	
	防护门	病人通道 3	15	2.0	3.502	10	符合	
	楼下	B3 停车位	2.5+5	6.5	1.593	2.5	符合	
	楼上	B1 停车位	2.5+9	6.5	0.6897	2.5	符合	

表 11-8 ¹³¹I 治疗药物功能区周围剂量率计算结果表（续表）

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 μSv/h	剂量限值 μSv/h	结果 评价
甲癌病房 2	东墙	甲癌病房 1	2+20	5550	1.8	0.9987	2.5	符合
	南墙	停车位	3+20		2.0	0.65617	2.5	符合
	西墙	甲癌病房 3	3+20		1.8	0.8100	2.5	符合
	北墙	病人通道 3	2+20		2.0	0.8089	10	符合
	防护门	病人通道 3	15		2.0	3.502	10	符合
	楼下	B3 停车位	2.5+5		6.5	1.593	2.5	符合
	楼上	B1 停车位	2.5+9		6.5	0.6897	2.5	符合
甲癌病房 3	东墙	甲癌病房 2	3+20		1.8	0.8100	2.5	符合
	南墙	停车位	3+20		2.0	0.6561	2.5	符合
	西墙	甲癌病房 4	2+20		1.8	0.9987	2.5	符合
	北墙	病人通道 3	2+20		2.0	0.8089	10	符合
	防护门	病人通道 3	15		2.0	3.502	10	符合
	楼下	B1 停车位	2.5+5		6.5	1.593	2.5	符合
	楼上	病人通道 3	2.5+9		6.5	0.6897	2.5	符合
甲癌病房 4	东墙	甲癌病房 3	2+20		1.8	0.9987	2.5	符合
	南墙	停车位	3+20		2.0	0.65617	2.5	符合
	西墙	甲癌病房 5	3+20		1.8	0.81007	2.5	符合
	北墙	病人通道 3	2+20		2.0	0.8089	10	符合
	防护门	病人通道 3	15		2.0	3.502	10	符合
	楼下	B1 停车位	2.5+5		6.5	1.593	2.5	符合
	楼上	病人通道 3	2.5+9		6.5	0.6897	2.5	符合
甲癌病房 5	东墙	甲癌病房 4	3+20	1.8	0.8100	2.5	符合	
	南墙	停车位	3+20	2.0	0.6561	2.5	符合	
	西墙	报警阀间	3+20	1.8	0.8100	2.5	符合	
	北墙	病人通道 3	2+20	2.0	0.8089	10	符合	
	防护门	病人通道 3	15	2.0	3.502	10	符合	
	楼下	B3 停车位	2.5+5	6.5	1.593	2.5	符合	
	楼上	B1 停车位	2.5+9	6.5	0.6897	2.5	符合	

表 11-8 ¹³¹I 治疗药物功能区周围剂量率计算结果表（续表）

场所	屏蔽体	毗邻场所	铅当量 mmPb	活度 MBq	距离 m	剂量率 μSv/h	剂量限值 μSv/h	结果 评价
甲亢病房 1	东墙	人员通道	2+10	555	2.5	0.4199	10	符合
	南墙	甲亢病房 2	2+10		1.6	1.025	2.5	符合
	西墙	楼梯	2+10		2.5	0.4199	2.5	符合
	北墙	人员通道	2+10		1.6	1.025	10	符合
	防护门	病人通道 3	5		2.5	1.818	10	符合
	楼下	B3 加速器机房	2.5		6.5	0.4538	2.5	符合
	楼上	B1 人员通道	2.5+3		6.5	0.2422	2.5	符合
甲亢病房 2	东墙	人员通道	2+10		2.5	0.4199	10	符合
	南墙	人员通道	2+10		1.9	0.7270	10	符合
	西墙	楼梯	2+10		2.5	0.4199	2.5	符合
	北墙	甲亢病房 1	2+10		1.9	0.7270	2.5	符合
	防护门	病人通道 3	5		1.9	3.147	10	符合
	楼下	B3 加速器机房	2.5		6.5	0.4538	2.5	符合
	楼上	B1 人员通道	2.5+3		6.5	0.2422	2.5	符合
抢救室 2	东墙	被服（污）	3+20	5550	1.8	0.8100	2.5	符合
	南墙	停车位	2+20		2.0	0.8089	2.5	符合
	西墙	甲癌病房 1	3+20		1.8	0.8100	2.5	符合
	北墙	病人通道 3	2+20		2.0	0.8089	10	符合
	防护门	病人通道 3	15		2.0	3.502	10	符合
	楼下	B3 停车位	2.5+5		6.5	1.59	2.5	符合
	楼上	B1 停车位	2.5+9		6.5	0.6897	2.5	符合
配餐间	传递窗	病人通道 3	20	555	0.5	1.97	10	符合

注：1、¹³¹I 自动分装室手套箱屏蔽厚度至少 50mmPb；

2、甲癌病人最大药量 5.55×10⁹Bq/人，甲亢患者药量 5.55×10⁸Bq/人，均以 1 人留观考虑。

E、其他核素治疗周围剂量率计算结果

核素 ^{89}Sr 、 ^{32}P 和 ^{90}Y 发射 β 射线，经过适当屏蔽后可忽略，本报告主要考虑 β 射线与屏蔽物质相互作用产生的韧致辐射影响。 ^{90}Y 树脂微球介入治疗见后分析评价。

β 射线产生韧致辐射的计算公式参照《辐射防护导论》（方杰主编）如下：

$$D_c = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot (E_b / r)^2 \cdot (\mu_m / \rho)$$

式中：A — 放射源的活度（Bq）；

Z_e — 屏蔽介质的原子序数；

E_b — β 粒子的平均能量（韧致辐射光子能量）；

r — 源与关注点的距离（m）；

μ_m / ρ — 空气质量能量吸收系数，（ m^2/kg ）。

表 11-9 使用 β 核素产生韧致辐射剂量率计算结果

核素	关注点	铅当量 mmPb	活度 MBq	Z_e	平均能量 (MeV)	μ_m / ρ $\times 10^{-3}$	剂量率 $\mu\text{Sv/h}$	剂量限值 $\mu\text{Sv/h}$	结果 评价
^{89}Sr	分装标记	10	148	82	0.5815	7.132	0.50	2.5	符合
	注射医师	0.5					1.28	2.5	符合
^{32}P 敷贴器	制备医师	0.5	37	13	0.695	2.918	0.03	2.5	符合

注： μ_m / ρ 为查《辐射防护导论》附表 1 数据。 Z_e 见《辐射防护导论》表 4.4：Pb：82，Al：13。

《辐射防护导论》附表 11：屏蔽材料 TVL=23.4mmPb（0.662MeV）。

综上，新建核医学科各功能场所的周围关注点剂量率均符合相关标准的要求，屏蔽设计能够满足要求，环境辐射影响较小。

由以上预测可知，考虑医技急诊楼一层及以上楼层楼板和距离的屏蔽，因此本项目核医学科对医技急诊楼一层及以上楼层环境保护目标辐射影响可忽略。

2、新建介入科（5F）辐射环境影响分析

（1）DSA 机房周围剂量估算公式

① X 射线机房屏蔽透射因子 B 计算公式：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$

式中：B — 透射因子；

X — 屏蔽体等效铅当量（mm）；

α 、 β 、 γ — 铅对不同管电压 X 射线辐射衰减的拟合参数。

（125kV（散））： α : 2.233, β : 7.888, γ : 0.7295

② DSA 机房关注点剂量率计算公式：

泄露射线：
$$D_{cd} = K_0 \cdot f \cdot B / R^2$$

散射射线：
$$D_{cs} = \frac{K_0 \cdot \alpha \cdot B \cdot (S/400)}{d_s^2 \cdot d_0^2}$$

式中： K_0 — 距靶点 1m 处的最大剂量率（ $\mu\text{Gy/h}$ ）；

f — 泄漏射线比率，取 0.1%；

B — 关注点屏蔽透射因子；

R — 靶点与关注点的距离（m）；

α — 患者对 X 射线的散射比，本报告取值 0.0015；

S — 散射面积，取典型值 100cm^2 ；

d_0 — 源与患者的距离，取 0.3m；

d_s — 患者与关注点的距离（m）。

③ DSA 机房周围关注点布局

本项目介入科 2 个 DSA 机房屏蔽防护措施一致，同时机房高度相同，因此辐射环境影响分析以其中面积较小的 DSA1 室进行分析。

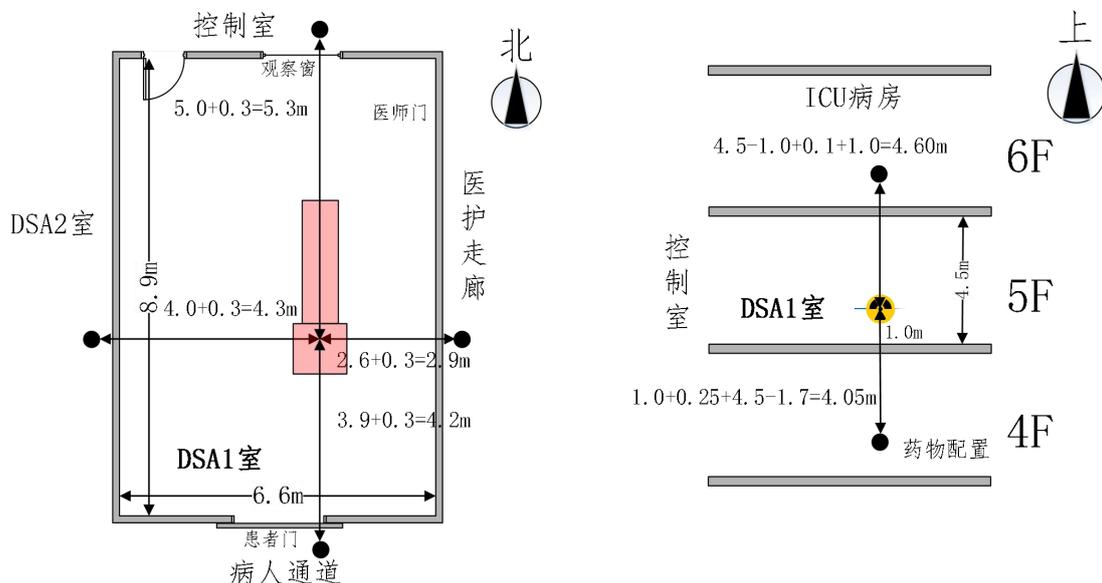


图 11-5 DSA1 室机房关注点分布图

④ DSA1 机房周围剂量估算结果

根据标准《医用血管造影 X 射线机专用技术条件》(YY/T 0740-2009) 要求，在管电压和管电流的任意组合下，在距影像接收器表面 30cm 处透视空气比释动能率不能超过 100mGy/min；《诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》(GB-9706.12-1997) 规定，X 射线设备被指定在手术中透视用，焦点到皮肤距离小于 20cm 时，必须提供阻止使用的装置，则最小焦皮距 SID 为 20cm，一般为 30cm。由以上两个条件，可保守计算出距离靶点 1 米处主束透视最大空气比释动能率 K_0 为 0.54Gy/h。

摄影状态下最大空气比释动能率远高于透视，根据 DSA 运行参数可知，摄影状态下管电流参数为透视的 50 倍，在电压相同的情况下，X 射线装置输出剂量率与电流成正比，本次评价摄影状态下源强按照透视状态的 50 倍估算，则为 12Gy/h。

表 11-10 DSA1 机房周围剂量当量率估算（摄影工况）

序号	关注点位置	等效屏蔽厚度 mmPb	透射因子 (B)	距离 (m)	剂量率 (μGy/h)		附加剂量率 (μGy/h)
					漏射	散射	
1	东墙外 30cm 处 (医护走廊)	3	1.56E-04	2.9	4.60E-02	9.30E-01	0.98
2	南墙外 30cm 处 (病人通道)	3	1.56E-04	4.2	6.46E-02	4.44E-01	0.51
3	西墙外 30cm 处 (DSA2 室)	3	1.56E-04	4.3	1.54E-01	4.23E-01	0.58
4	北墙外 30cm 处 (控制室)	3	1.56E-04	5.3	1.07E-01	2.79E-01	0.39
5	机房防护门外 30cm 处 (病人通道)	3	1.56E-04	4.2	6.97E-02	4.44E-01	0.51
6	医护人员通道门外 30cm 处 (控制室)	3	1.56E-04	5.3	1.54E-01	2.79E-01	0.43
7	观察窗外 30cm 处 (控制室)	3	1.56E-04	5.3	1.54E-01	2.79E-01	0.43
8	楼上 100cm 处 (ICU 病房)	4	1.67E-05	4.6	1.14E-02	3.94E-02	0.05
9	楼下 170cm 处 (药物配制间)	2.5	4.83E-04	4.05	2.15E-01	1.47E+00	1.69

表 11-11 DSA1 机房周围剂量当量率估算（透视工况）

序号	关注点位置	等效屏蔽厚度 mmPb	透射因子 (B)	距离 (m)	剂量率 (μGy/h)		附加剂量率 (μGy/h)
					漏射	散射	
1	东墙外 30cm 处 (医护走廊)	3	1.56E-04	2.9	2.07E-03	4.19E-02	4.40E-02
2	南墙外 30cm 处 (病人通道)	3	1.56E-04	4.2	2.91E-03	2.00E-02	2.29E-02
3	西墙外 30cm 处 (DSA2 室)	3	1.56E-04	4.3	6.94E-03	1.90E-02	2.59E-02
4	北墙外 30cm 处 (控制室)	3	1.56E-04	5.3	4.81E-03	1.25E-02	1.73E-02
5	机房防护门外 30cm 处 (病人通道)	3	1.56E-04	4.2	3.14E-03	2.00E-02	2.31E-02
6	医护人员通道门外 30cm 处 (控制室)	3	1.56E-04	5.3	6.94E-03	1.25E-02	1.94E-02
7	观察窗外 30cm 处 (控制室)	3	1.56E-04	5.3	6.94E-03	1.25E-02	1.94E-02
8	楼上 100cm 处 (ICU 病房)	4	1.67E-05	4.6	5.13E-04	1.77E-03	2.28E-03
9	楼下 170cm 处 (药物配制间)	2.5	4.83E-04	4.05	9.68E-03	6.62E-02	7.59E-02

由上表类推 DSA2 室（比 DSA1 室较大）周围关注点剂量率也小于 2.5μGy/h，因此，新建介入科（5F）2 个 DSA 机房周围剂量率满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中不大于 2.5 μSv/h 的标准要求。由以上预测可知，考虑医技急诊楼楼板和距离的屏蔽，因此本项目 2 个 DSA 机房对医技急诊楼中非屏蔽体外的其余环境保护目标辐射影响可忽略。

(2) 术者位剂量当量率估算

第一术者位距离源强距离约为 0.6m；第二术者位约为 1.0m。第一术者位医生操作时身穿铅衣、戴铅帽、铅围脖等，同时在铅悬挂防护屏和床侧防护帘后操作，受到了两次防护，防护能力为 1.0mm 铅当量；第二术者位医生仅受铅衣、铅帽、铅围脖等防护，防护能力为 0.5mm 铅当量。透射因子 B 以正常工作管电压 125kV 参数估算(α :2.233, β :7.888, γ :0.729)，术者位剂量估算见表 11-2 所示。

表 11-12 术者位剂量率估算

工况	位置	屏蔽厚度 (mmPb)	透射因子 (B)	距离 (m)		剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)		附加剂量率 ($\mu\text{Gy/h}$)
				距源	距患者	漏射	散射	
透视	第一术者位	1	0.0169541	0.6	0.3	25.43	105.96	131.39
	第二术者位	0.5	0.0736961	1.0	0.7	39.80	165.82	205.62

(3) 术者位腕部剂量率估算

本次评价对职业人员腕部剂量进行计算，主要考虑手术医生在介入治疗期间所受剂量，介入治疗时主要为透视模式，医生在铅悬挂防护屏后操作，防护能力为 0.25mm 铅当量，距离源距离取 0.6m。

具体计算参数及计算结果见表 11-13 所示。

表 11-13 腕部剂量率估算

工况	透射因子(B)	距离 (m)		剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		附加剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
		距源	距患者	漏射	散射	
透视	0.196	0.6	0.3	294.6	1227.5	1522.1

3、使用 ^{90}Y 树脂微球开展介入治疗辐射环境影响分析

医院开展使用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗过程分两个阶段，第一阶段： $^{99\text{m}}\text{Tc-MAA}$ 模拟输注、SPECT/CT 扫描显像并分析评估，第二阶段： ^{90}Y 树脂微球的介入治疗，涉及的工作场所包括新建核医学科 (B2) 和介入科 (5F) DSA 1 室，均为乙级非密封放射性物质工作场所，在新建核医学科完成药物准备，在介入科 DSA1 室进行药物输注， ^{90}Y 患者留观/住院的专用病房位于新建核医学科 (B2) 场所内西侧。

核素 ^{90}Y 在衰变过程中释放主要 β 射线，半衰期为 64.1h，最大能量为 2.284MeV，平均能量为 0.938MeV，医师操作 ^{90}Y 树脂微球时会穿戴个人防护用品及进行适当屏蔽，因此， β 射线对人员的辐射影响可以忽略，本项目辐射环境影响主要考虑 β 射线被物质阻挡时产生的韧致辐射影响。

(1) ^{90}Y 树脂微球在药物准备过程中辐射剂量监测结果

下表列出中疾控在 2021 年 6 月 4 日在北京大学第一医院核医学科对 ^{90}Y 树脂微球准备过程中的检测结果（未扣除本底）。

表 11-14 ^{90}Y 树脂微球药物准备环节检测结果

序号	项目	检测位置	检测结果 ($\mu\text{Sv/h}$)	备注
1	货包	距离货包表面 5cm 处	21.2	货包内有 2 罐 ^{90}Y 药物， 活度为：3.19GBq+2.90GBq
2		距离货包表面 100cm 处	0.98	
3	铅罐	距离铅罐表面 5cm 处	71.7	铅罐内 ^{90}Y 药物活度为：3.19GBq
4		距离铅罐表面 30cm 处	5.17	
5		距离铅罐表面 100cm 处	0.88	
6	西林瓶	距离西林瓶表面 30cm 处	34.3	西林瓶内 ^{90}Y 药物活度为：3.19GBq
7	手套箱	距离手套箱观察窗 5cm 处	0.42	将西林瓶放置手套箱中， 瓶内 ^{90}Y 药物活度为：3.19GBq
8		距离手套箱前表面 5cm 处	1.01	
9		距离手套箱侧表面 5cm 处	0.23	
10		距离手套箱手套口开 5cm 处	23.8	
11	V 瓶	距离 V 瓶表面 5cm 处	984.0	提取西林瓶内 ^{90}Y 药物到 V 瓶， V 瓶内 ^{90}Y 活度为：2.34GBq
12		距离 V 瓶表面 30cm 处	15.1	
13		距离 V 瓶表面 100cm 处	2.05	
14	注射 方形盒	距离方形盒表面 5cm 处	38.5	注射方形盒覆盖 0.5mmPb， 盒内 ^{90}Y 药物活度为：2.34GBq
15		距离方形盒表面 30cm 处	6.80	
16		距离方形盒表面 50cm 处	3.90	
17		距离方形盒表面 100cm 处	1.51	
18		距离方形盒表面 200cm 处	0.45	
19	放药室	距离放药室屏蔽体 30cm 处	0.13-0.25	室内 ^{90}Y 药物活度为：2.34GBq

由表 11-14 可知： ^{90}Y 树脂微球药物货包（2 瓶）外表 5cm 处剂量率为 21.2 $\mu\text{Sv/h}$ ，屏蔽铅罐（1 瓶）外表 1m 处剂量率为 0.88 $\mu\text{Sv/h}$ ，距 V 瓶 1m 处剂量率为 2.05 $\mu\text{Sv/h}$ ，距注射方形盒 1m 处剂量率为 1.51 $\mu\text{Sv/h}$ ，剩余药物作为固体放射性废物处理。

(2) ⁹⁰Y 树脂微球在介入科 DSA1 室进行介入输注过程中辐射剂量估算结果

表 11-15 ⁹⁰Y 树脂微球在介入科 DSA1 室进行介入输注过程中辐射剂量率估算结果

序号	关注点	屏蔽材料		距离 m	韧致辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	DSA 叠加 ($\mu\text{Sv/h}$)	总剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
		Z_e	μ_m/ρ				
1	东墙外 30cm	7.36	2.787×10^{-3}	2.9	0.0002	0.05	0.0502
2	南墙外 30cm			4.2	0.0015	0.03	0.0315
3	西墙外 30cm			4.3	0.0013	0.03	0.0313
4	北墙外 30cm			5.3	0.0006	0.02	0.0206
5	楼上 1.0m			4.6	0.0010	0.01	0.0110
6	楼下 1.7m			4.05	0.0017	0.08	0.0817
7	患者门外 30cm			4.2	0.0015	0.03	0.0315
8	医护人员门外 30cm			5.3	0.0006	0.02	0.0206
9	观察窗外 30cm			5.3	0.0006	0.02	0.0206
10	第一术者腕部			0.6		4.202	1522.1
11	第一术者位	5.85	3.014×10^{-3}	0.6	3.503	131.39	134.9
12	第二术者位			1.0	0.454	205.62	206.1
13	药物输注			0.5	7.489	/	7.489

注：屏蔽材料：空气： $Z_e=7.36$ ， $\mu_m/\rho=2.787 \times 10^{-3}$ ；有机玻璃： $Z_e=5.85$ ， $\mu_m/\rho=3.014 \times 10^{-3}$ 。

本项目 DSA1 室周围和第一术者位腕部关注点保守考虑空气中韧致辐射剂量率，术者位和药物输注位考虑有机玻璃中韧致辐射剂量率。

(3) 注射 ⁹⁰Y 患者周围辐射剂量

⁹⁰Y 树脂微球药物生产厂家药品说明书上提供了患者平均注射 2.1GBq ⁹⁰Y 树脂微球 6 h 后，其身体周围不同距离(r)处的辐射剂量率。见下表：

表 11-16 ⁹⁰Y 树脂微球治疗患者周围辐射剂量率的空间分布

序号	距离 r (m)	6h 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}/2.1\text{GBq}$)	0h 剂量率 ($\mu\text{Sv/h}/3.0\text{GBq}$)
1	0.25	18.8	28.7
2	0.5	9.2	14.0
3	1.0	1.5	2.3
4	2.0	0.4	0.6
5	4.0	<0.1	0.1

从表 11-16 可知：患者（药量约 2.1GBq）注射后 6 小时后，距离患者 1m 处的辐射剂量率为 1.5 $\mu\text{Sv/h}$ ，2m 处辐射剂量率为 0.4 $\mu\text{Sv/h}$ ，4m 处为本底水平，因此，患者留观/住院专用病房无需专门防护，需设置门禁等措施，限制住院患者的活动区域。

4、辐射工作人员与周围公众的年有效剂量分析

(1) 年有效剂量估算公式

$$E = H_c \cdot t \cdot T \cdot W$$

式中：E — 年有效剂量（mSv/a）；

H_c — 关注点剂量率（μSv/h）；

t — 时间（h/a）；

T — 居留因子；

W — 组织权重因子（取 1）。

(2) 辐射工作人员与公众年有效剂量估算结果

根据治疗流程和医院提供的工作负荷，职业人员与公众年有效剂量见下表：

表 11-17 职业人员操作时间计划表

工作项目		操作时间 min/次	次/日	年工作日 d/a	合计 h/a		备注
99mTc 淋洗		3	1	240	12		/
18F 分装		3	1		12		/
99mTc 注射及显像		1	10		40		/
18F 注射及显像		1	40		160		/
医师辅助患者摆位（99mTc）		0.5	10		20		/
医师辅助患者摆位（18F）		0.5	40		80		/
32P 敷贴器制作		6	1		24		/
89Sr 药物准备、注射		1	2		8		/
153Sm 药物准备、注射		1	2		8		/
131I 甲癌患者配餐		0.5	3×5		30		一日三餐
125I 粒籽源分装、植入		1	2		8		/
DSA	控制室	出束时间 20 (每台手术)	400 例/年 (2 台 DSA)	摄影	20	摄影占比：15%	
			400 例/年 (2 台 DSA)	透视	113	透视占比：85%	
	每名医师：60 例/年			17	透视占比：85%		
90Y 微球 介入治疗	药物准备	30	200 例/年	100		核医学科	
	介入输注	20	200 例/年	66.7		介入科 DSA1 室	

表 11-18 职业人员与公众年剂量计算结果

工作场所		工作类型		剂量率 μSv/h	时间 h/a	有效剂量 mSv/a		剂量约束 mSv/a	结果 评价
核医学 科(B2)	SPECT/CT 诊疗区	^{99m} Tc 淋洗		3.0E-08	12	3.6E-10		5.0	符合
		^{99m} Tc 注射	躯干	9.0E-09	40	3.6E-10		5.0	符合
			手部	22.4		0.8960		200	符合
		SPECT /CT 显影	摆位	4.84	20	0.0968		5.0	符合
			操作室	0.08	40	0.0032		5.0	符合
	PET/CT 诊疗区	¹⁸ F 分装质控		0.77	12	0.00924		5.0	符合
		¹⁸ F 注射	躯干	0.31	160	0.0496		5.0	符合
			手部	5.85		0.9360		200	符合
		PET/CT 显影	摆位	47.6	80	3.808		5.0	符合
	操作室		1.42	160	0.2272		5.0	符合	
	¹³¹ I 治疗区	配餐口	传递口	1.97	30	0.0591		5.0	符合
	³² P	敷贴器制备		0.03	24	0.0007		5.0	符合
	⁸⁹ Sr	药物准备		0.50	8	0.0040		5.0	符合
		药物注射		1.28	8	0.0102		5.0	符合
⁹⁰ Y	药物抽取和活度测量		2.05	100	0.2050		5.0	符合	
周围公众（最大位置）				6.38	50	0.0798		0.1	符合
介入科 (5F)	DSA 1-2 室	DSA 控制室	摄影	0.43	20	0.0086	0.0108	2.0	符合
			透视	0.02	113	0.0022			
		第一术者位（透视）		134.9	17	2.293		5.0	符合
		第二术者位（透视）		206.1		3.504		5.0	符合
	手术医师腕部（透视）		1526.3	25.95		200	符合		
	DSA1 室	⁹⁰ Y 树脂微球输注（透视）		7.489	66.7	0.4995		5.0	符合
	周围公众（最大位置）			摄影	1.69	20	0.0338	0.0430	0.1
			透视	0.0817	113	0.0092			

注：职业人员的居留因子 T=1，周围公众的居留因子 T=1/4。

综上，新建核医学科职业人员最大年有效剂量为 3.808mSv/a，职业人员手部年最大当量剂量为：0.9360mSv/a，周围公众年有效剂量 0.0798mSv/a，均小于职业人员 5mSv/a 的有效剂量约束值，200mSv/a 的当量剂量（手部）约束值和公众 0.1mSv/a 有效剂量约束值要求。

介入科 DSA 室手术医师年有效剂量 3.504mSv/a，手术医师腕部当量剂量为 25.95mSv/a，介入科 DSA 控制室辐射工作人员年有效剂量 0.0108mSv/a，周围公众年有效剂量 0.0430mSv/a，均小于手术医师 5mSv/a 的剂量约束值，200mSv/a 的当量剂量（手部），控制室辐射工作人员 2mSv/a 的剂量约束值和公众 0.1mSv/a 有效剂量约束值要求。

11.2.2 放射性废水环境影响分析

1、新建核医学科放射性废液收集

新建核医学科放射性废液衰变池用于收集服药患者在住院或留观期间的排泄废水、放射性药物操作医护人员清洁废水和事故应急时清洗废水。根据医院提供的资料和治疗流程可知，本项目衰变池主要考虑 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{90}Y 和 ^{131}I 产生的放射性废液；核素 ^{32}P 用于敷贴治疗，基本不产生废水；核素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 在给患者注射药物后，患者可直接离开，基本不产生废水。生活废水和未服药患者的排泄废水不排入衰变池。

2、新建核医学衰变池的建设设计

新建核医学科衰变池计划建设在医技急诊楼西北侧地下，根据收集核素半衰期的长短设计两个独立的衰变池，见下图：

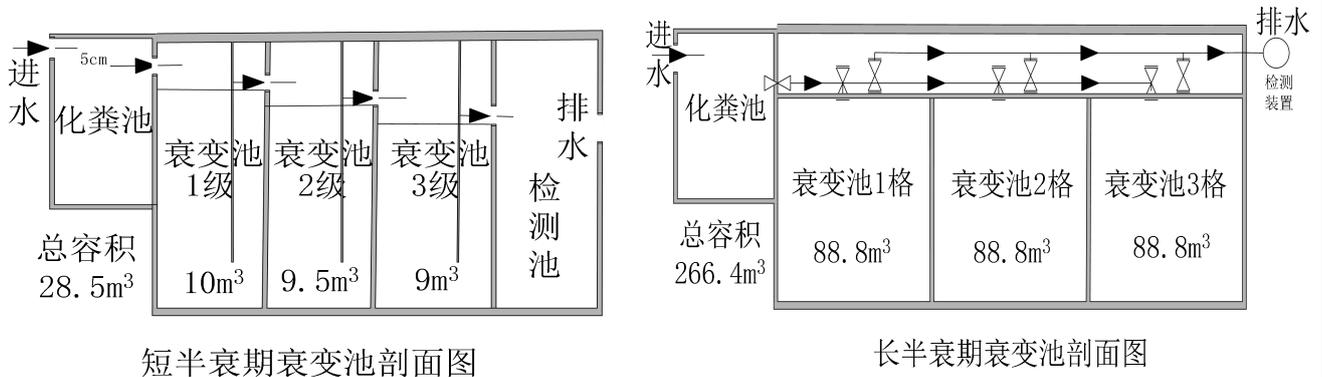


图 11-6 核医学科放射性废液衰变池示意图

长半衰期衰变池主要收集、贮存含 ^{131}I 核素的废液，容积为 266.4m^3 ，均分三格槽式工艺，前置化粪池（沉淀池）；短半衰期衰变池主要收集、贮存含 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 和 ^{90}Y 核素的废液，容积为 28.5m^3 ，分三级推流式工艺，前置化粪池（沉淀池），后置检测池。

3、衰变池放射性废水分析

新建核医学科衰变池收集的放射性废水估算参数如下：

(1) 门诊病例：按平均每病人排尿 1-2 次（ 300mL ），抽水马桶 1 次排水 $6\text{L}/\text{次}$ ，共计 $6.3\text{L}/\text{次}$ ；住院病例：甲癌病人按废水量 $100\text{L}/\text{床日}$ 计算。

(2) 病人出院时的排出量按给药量的比例计算活度： ^{99m}Tc ：33%； ^{131}I ：甲亢 20%，甲癌：66%（取自辐射防护手册（第三分册）辐射安全 原子能出版社，1990.3）

(3) 核素操作假设有 1% 药量洒滴到台面等处，其中 90% 去污计入固废，10% 为清洗废液，每次清洗废水以 $50\text{mL}/\text{m}^2$ 计。

表 11-19 新建核医学科衰变池收集贮存放射性废水统计表

场所	用水类别	用水定额	日接诊 病人人数	排入水 量 (L/d)	单人药量 (MBq/人)	废水活度 (Bq/d)	去向
PET/CT SPECT/CT 高活区 诊疗区	服药病人排泄	6.3L/人/次	70×2 人次	882	925	2.14×10^{10}	短半衰期 衰变池
	清洗废水	50mL/m ²	10m ²	0.5		7.4×10^7	
	医护人员清洁	5L/人	2 人	10	/	/	
	⁹⁰ Y 患者排泄	6.3L/人/次	1 人次	6.3	2100	7.25×10^4	
	总计				898.8	/	
¹³¹ I 治疗区	甲亢病人排泄	6.3L/人/次	10×2 人次	126	555	1.11×10^9	长半衰期 衰变池
	甲癌病人排泄	100L/床/日	5 人	500	5550	3.66×10^9	
	总计				626.0	/	

注：1、¹³¹I 为自动分装给药，医护人员为隔室操作，无清洁废水产生；
2、甲亢病人按门诊留观计算；
3、³²P、⁸⁹Sr 和 ¹⁵³Sm 治疗不产生废水。

表 11-20 核医学科衰变池放射性废水排放分析表

衰变池	容积 (m ³)	废水量 (L/日)	贮存 时间	排入活度 (Bq/d)	排入浓度 (Bq/L)	排出浓度 (Bq/L)	达标情况	
							限值	评价
推流式	28.5	898.8	31d	2.14×10^{10}	2.4×10^7	6.1×10^{-27}	10Bq/L	达标
槽式	266.4	626	284d	4.77×10^9	7.6×10^6	2.3×10^{-4}		达标

综上所述可得出：

(1) 短半衰期衰变池为三级推流式工艺，放射性废液贮存时间约 31 天，经计算排放浓度小于 10Bq/L，符合标准放射性废液排放规定要求。每年至少对短半衰期衰变池中的放射性废液进行 1 次监测。

(2) 长半衰期衰变池为三级槽式工艺，放射性废液贮存时间按 2 格存满计算，贮存时间为 284 天，符合含碘放射性废液贮存时间超过 180 天的规定要求，经计算排放浓度小于 10Bq/L，每次排放活度小于 1ALImin (9.09×10^5 Bq)，因此本项目含碘放射性废液暂存后可直接排放。

(3) 运行过程建议

① 短半衰期衰变池实行每月排放 1 次，化粪池每半年清掏 1 次。每年至少对短半衰期衰变池中的放射性废液进行 1 次监测。

② 长半衰期衰变池实行每半年排放 1 次，化粪池每半年清掏 1 次，监测结果经上级主管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。

③ 放射性废液的暂存和处理应设专人负责，建立台账，详细记录放射性废液中核素、产生和排放时间，监测结果等信息。

总之，在加强管理，严格控制废液的产生，每次排放前必须先检测达标后再排放，做好记录并存档备查，新建核医学科衰变池设计能够满足相关法规要求。

4、⁹⁰Y 治疗患者留观住院期间的放射性废液排放分析

⁹⁰Y 树脂微球在人体内不参与人体代谢而保持原型,根据 GB18871-2002 规定要求,经计算 ${}^{90}\text{Y}$: $ALI_{\text{min}}=5 \div (2.7 \times 10^{-9}) = 1.85\text{MBq}$, 根据相关研究报告可知,治疗患者术后 0-24h 内排泄物中 ⁹⁰Y 含量很小,总活度约 72.5kBq,小于标准要求 ⁹⁰Y 核素 ALI_{min} 限值。同时,每注入 ⁹⁰Y 树脂微球 1GBq 患者尿液中 ⁹⁰Y 活度浓度为 $5.85 \times 10^4\text{Bq/L}$,按患者注入最大药量 2.0GBq 计算,患者术后 24h 内尿液含 ⁹⁰Y 活度浓度为 $1.17 \times 10^5\text{Bq/L}$,低于标准规定 ⁹⁰Y 核素豁免活度浓度 $1.0 \times 10^6\text{Bq/L}$ 。因此,⁹⁰Y 治疗患者留观住院期间的排泄废液原则上可直接排入医院污水系统,从偏安全考虑,专用病房设置了专用卫生间,患者排放废液可排入短半衰期衰变池。⁹⁰Y 半衰期为 64.1h,排入短半衰期衰变池后可暂存约 31 天,超过 ⁹⁰Y 10 个半衰期(约 27 天)的时长。

11.2.3 固体放射性废物环境影响分析

(1) 固体放射性废物包括:剩余药物、去污使用的一次性物品和沾有放射性残液的注射器、分装瓶、棉签、操作使用的手套、口罩等,废钼铈发生器和废镅镓发生器,废弃粒籽源和敷贴器,退役校准源,气态放射性废物过滤装置更换下来的活性炭及滤袋。

(2) 固体放射性废物的收集和贮存

① 固体放射性废物应收集于具有屏蔽结构和电离辐射标志的专用废物桶。废物桶内应放置专用塑料袋直接收纳废物。

② 含尖刺及棱角的放射性废物,应先放入利物盒后,再装入废物桶,防止刺破废物袋。

③ 放射性废物应按照半衰期或核素分类、分期收集,每袋重量不超过 20 kg。装满废物的塑料袋应密封后及时转送至放射性废物暂存间贮存。

④ 放射性废物暂存间应安装通风换气装置,放射性废物中含有易挥发放射性核素的,通风换气装置应有单独的排风管道。入口处应设置电离辐射警告标志,采取有效的防火、防丢失、防射线泄漏等措施,不得存放易燃、易爆、腐蚀性物品。

⑤ 废物暂存间内应设置专用容器盛放固体放射性废物袋(桶),不同类别废物应分开存放。容器表面应注明废物所含核素的名称、废物的类别、入库日期等信息,并做好登记。

(3) 放射性废物处置

① 废弃粒籽源、废钼铈发生器和废镅镓发生器在废物间暂存,最终由厂家回收。

② 退役校准、质控放射源由厂家回收或交山西省放射性废物暂存库。

③ 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的,经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平, β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后,可对废物清洁解控并作为医疗废物处理:

A、所含核素半衰期小于 24 小时的固体放射性废物暂存时间超过 30 天 (^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{68}Ga)

B、所含核素半衰期大于 24 小时的固废暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍 (^{90}Y 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 和 ^{32}P)；

C、含 ^{131}I 核素的固体放射性废物暂存超过 180 天。

④不能解控的固体放射性废物应该按照放射性废物处理的相关规定予以收集、整备，并送交有资质的单位处理。放射性废物包装体外的表面剂量率应不超过 0.1mSv/h，表面污染水平对 β 和 γ 发射体应小于 4.0Bq/cm²。

⑤固体放射性废物的存储和处理应安排专人负责，并建立废物存储和处理台账，详细记录放射性废物的核素名称、重量、废物产生起始日期、责任人员、出库时间和监测结果等信息。

⑥ ^{90}Y 在介入科 DSA1 室进行药物输注中产生的固体放射性废物收集于 DSA1 室放射性废物桶，转运至核医学科放射性废物暂存间贮存，并按规定要求处置。

11.2.4 气态放射性废物环境影响分析

(1) 气态放射性废物的产生

核医学科使用 ^{131}I 放射性药物，易挥发，但是 ^{131}I 药品是离子型水溶液成品，不需要再加工，稀释即可使用，产生放射性气溶胶的可能性很小；核素 ^{131}I 是在自动分装仪进行分装和给药，对外空间不会产生气态放射性废物，患者服药可能有滴洒污染，有少量放射性气体污染空气。

使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物为简单湿法操作， ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器中 ^{99}Mo 及衰变产物 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{99}Tc 等均为非挥发性物质，淋洗过程在密闭发生器中负压条件下进行， $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 药物的标记、分装等是在手套箱中进行，因此，操作场所产生放射性气体污染很小。

使用 ^{18}F 放射性药物为人工合成药物，易挥发，但是 ^{18}F 药品是离子型水溶液成品，不需要再加工，在密闭手套箱中分装标记便可使用，产生放射性气溶胶的可能性很小；患者注射时，可能有滴洒污染，有少量放射性气体污染空气。

其他核素为非挥发性成品，患者注射或制作时，可能有滴洒污染，产生放射性气体污染很小，基本可以忽略。

(2) 放射性气体的排放

在核医学科东北角安装了 1 台 25000m³/h 的新风风机，分 2 支管道连接至核医学科非活性区和控制区。新建核医学科专门设置了 5 套排风系统，非活性区排风装置为使用医技急诊楼原有排风系统（不另行描述）。

(1) 核医学科发生器室 (^{99m}Tc 的淋洗, 核素 ^{99m}Tc 分装标记)、锗镓发生器室 (^{68}Ga 的制备, 核素 ^{68}Ga 分装标记)、敷贴制备间 (敷贴药品制备)、质控室 (非密封放射性药品的质控)、分装室 (核素 ^{18}F 、 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 分装标记)、 ^{131}I 自动分装室 (核素 ^{131}I 的分装标记) 均配备手套箱, 6 个手套箱设置独立通风系统, 各手套箱顶壁安装高效活性炭净化过滤装置 (^{131}I 自动分装手套箱安装碘吸附装置和活性炭过滤装置)。各手套箱支管均安装止回阀, 汇入总管后引至医技急诊楼楼顶排放。

(2) PET/CT 区域排风系统: 高活区沾污检测室→清洁间→PET 注射候诊室 1→PET/CT 检查室→PET 注射区→储源 1 室→放射性污物间 1→病人通道 1→粒籽分装/敷贴制作室→发生器室→PET 注射候诊室 2→锗镓发生器室→PET/MR 检查室→PET 清洁间→PET 污物间 2→PET 留观室→粒籽植入病房→走廊→ ^{90}Y 专用病房。各区域排风支管在接入主管前安装止回阀。主管排风经活性炭吸附装置过滤后, 最终引至医技急诊楼楼顶排放。

(3) SPECT/CT 区域排风系统: 医护更淋卫→SPECT 抢救 1/运动负荷室→敷贴室及其储源室→SPECT 注射候诊室 1→SPECT 注射室→SPECT 清洁间→SPECT/CT1 室→分装质控室过道→化学合成室→病人通道 2→SPECT/CT2 室→SPECT 注射候诊室 2→SPECT 留观室 1→SPECT 留观室 2。各区域排风支管在接入主管前安装止回阀。主管排风经活性炭吸附装置过滤后, 最终引至医技急诊楼楼顶排放。

(4) ^{131}I 治疗区排风系统: 门诊→门诊换班室→医护更衣室→医护更淋室→医护走廊 2 及 SPECT/CT 控制室→放免实验室→清洁被服库→放免操作间→碘治疗卫生通过间→甲功室→碘分装质控室→污物间 2→自助服药室→储源 2 室→污染被服库→抢救 2 室→污洗间/清洁间→甲亢留观室→甲亢病房 1/2。各区域排风支管在接入主管前安装止回阀。主管排风经活性炭吸附装置过滤后, 最终引至医技急诊楼楼顶排放。

(5) 甲癌病房排风系统: 核医学科共设置 5 间甲癌病房, 排风系统自甲癌病房 1 至甲癌病房 5 依次排入管线, 各支管在接入主管前安装止回阀。主管排风经活性炭吸附装置过滤后, 最终引至医技急诊楼楼顶排放。

以上排风系统中, 手套箱排风系统通过核医学科东南部的排风风井引至新建医技急诊楼楼顶排放; PET/CT 区域排风系统、SPECT/CT 区域排风系统、 ^{131}I 治疗区排风系统和甲癌病房排风系统均通过核医学科西侧的排风风井引至新建医技急诊楼楼顶排放, 楼顶排风口设置检测口。

综上: 新建核医学科的排风系统的气流方向遵循从低活区流向高活区, 各排风支管安装止回阀, 总管安装高效活性炭过滤净化装置。排风口均设置在高出医技急诊楼顶, 尽量远离周围高层建筑的位置, 排风口设置排风检测口, 保障过滤装置的有效性。通过实施有效排风措施, 不会对周围环境造成明显影响。

11.2.5 表面污染环境的影响分析

新建核医学科和介入科 DSA1 室工作人员在对放射性药物进行操作时，会引起工作台、墙壁、地面、工作服等发生放射性沾污，为控制表面污染，采取的措施如下：

(1)对操作人员进行岗前培训，使其具备熟练的操作技能及丰富的防护知识；

(2)操作放射性物质在易去污的工作台面上进行，取药、质检等在手套箱内进行；

(3)如有药物洒滴现象，工作人员可用棉签将其擦拭处理，擦拭后产生的废棉签、手套按固体放射性废物收集至放射性废物桶内转移至和医学废物间暂存，监测达标后按普通废物处理；

(4)工作人员进出工作场所需更衣，操作时穿防护服，带防护手套；放射性操作之后对工作台面、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查、清洗、去污。

11.2.6 新建介入科（DSA）环境影响分析

介入科 DSA 正常工作时，机房室内产生的少量臭氧和氮氧化物，导管室设置了机械排风装置，通过排风装置将室内有害气体排出，对周围环境影响较小。

DSA 采用数字成像，无废显、定影液产生，打印胶片由病人带走自行处理。手术时产生的医用器具和药棉、纱布、手套等医用辅料，按医疗废物管理规定处置。

DSA1 室为 ^{90}Y 树脂微球介入输注场所，产生的固体放射性废物收集于放射性废物桶，转运至核医学科放射性废物间暂存，按固体放射性废物管理规定处置。

综上，新建介入科 DSA 产生的各项污染物均采取了有效的污染防治措施。正常运行情况下，对环境造成的影响较小。

11.3 核医学可能造成环境影响事故的分析

11.3.1 可能发生辐射事故情况

(1) 在操作非密封放射性物质的过程中，因容器破碎、药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。

(2) 放射性物品丢失、失窃、泄漏，造成放射性事故；放射性药物在转移过程中由于操作人员违反操作规定或误操作引起意外泄漏而造成放射性表面污染。

(3) 放射性同位素使用中，出现患者识别错误，或者剂量使用错误，会给患者造成不该施加的照射。

(4) 气态放射性废物排放中过滤净化装置失效或功能减弱，造成环境空气污染。

(5) 放射性废液贮存衰变池外溢、未达标排入医院污水处理设施，造成场所和设施的污染。

11.3.2 应急事故处理

(1) 放射源丢失

采取措施：

- ①盘存最新放射源库存及台账；
- ②从辐射防护管理人员获得援助；
- ③进行本地搜索；
- ④检查并确保其他源的安全和控制；
- ⑤排查医院的所有可能性；
- ⑥如果没有找到，则按照监管机构的规定报告丢失材料。

(2) ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 发生器损坏

采取措施：

- ①立即撤离该地区；
- ②通知放射防护管理人员确认泄漏，并监督去污和监测程序实施；
- ③记录事件并根据监管机构的规定进行报告。

(3) 少量放射性液体泄漏

采取措施：

- ①使用防护服和一次性手套；
- ②用吸水垫快速吸收溢出物，防止其蔓延；
- ③从泄漏处取下垫子；
- ④用毛巾从污染区边缘向中心擦拭；
- ⑤干燥区域并进行擦拭物测试；
- ⑥继续清洁和擦拭测试循环，直到擦拭样品显示已经清理了溢出物；
- ⑦使用塑料袋来容纳污染的物品，应提供合适的袋子以及湿纸巾。

(4) 泄漏大量的放射性物质

采取措施：

- ①应立即通知放射防护管理人员并直接监督清理工作；
- ②将吸收垫放在溢出物上以防止其进一步污染蔓延；
- ③所有非参与泄漏事故处置的人都应立即离开该场所；
- ④在离开污染区时监测所有涉及泄漏的人是否受到污染；

⑤如果衣服被污染，请将其取出并放入标有“放射性”的塑料袋中；

⑥如果发生皮肤污染，请立即清洗；

⑦如果发生眼睛污染，请用大量的水冲洗。

(5) 气态放射性废物过滤装置失效或减弱

采取措施：

①应立即通知放射防护管理人员并进行更换工作；

②气态放射性废物总排放口预留监测或取样口，定期进行监测，并记录存档。

(6) 衰变池发生外溢或将未达标的放射性废液排出

采取措施：

①应立即通知放射防护管理人员并进行检查工作；

②放射性废液排放水泵设置 1 用 1 备，避免发生辐射事故的风险；

③衰变池的排放口预留监测或取样口，定期进行监测，并记录存档；

④对被污染区或被污染设备设施进行及时去污和更换，更换设备设施按照固体放射性废物的管理方法进行处置。

11.4 介入科 DSA 事故影响分析

11.4.1 可能发生辐射事故情况

介入科 DSA 为 II 类射线装置，开机时会产生 X 射线，关机则不会产生 X 射线，运营中存在着风险和潜在危害及事故隐患，可能出现概率较大的事故分析如下：

1、辐射工作人员违反放射操作规程或误操作，造成意外照射。

2、联锁装置发生故障情况下，人员误入正在运行的射线装置机房。

3、其它医护人员还未全部撤离机房，即进行曝光，人员受到不必要的照射。所受到的照射剂量与其所在位置有关，距离射线装置越近，受照剂量越大。

4、在防护门未关闭的情况下即进行曝光操作，可能给工作人员和周围活动的人员造成不必要的照射。

5、介入手术时间过长，导致手术医生超剂量照射。

6、医护人员开展治疗时，未正确穿戴或者个人防护用品不能有效进行防护，受到射线照射。

11.4.2 事故防范与处理措施

对介入科 DSA 可能发生的辐射事故情况，项目采取了多种防范措施：

1、对医用射线装置制定明确的操作规程，在放射诊断操作时，至少有 2 名操作人员同时在

场，操作人员按照操作规程进行操作。

2、控制出束时间，在不影响手术的情况下降低设备管电压和管电流参数。

3、设备具有安全指示设备，当设备出现错误或故障时，能中断照射，并有相应故障显示。

4、急停措施：在控制室内、DSA 操作控制面板上、设备间电源开关分别设置急停按钮，当发生紧急情况，按下任一个急停开关按钮，立即停止 X 射线出束。

5、介入手术时，操作医生需要确认机房内无其它闲杂人等、铅防护门正常关闭之后才能开启曝光。

6、放射工作人员在进行放射诊疗工作时必须穿戴好防护用品，并佩戴个人剂量计，严禁在无任何防护措施情况下进行曝光，定期对防护用品有效性进行检测。

7、警示标志：机房防护门外设置醒目的电离辐射标志及工作状态指示灯。

8、患者通道防护门应有内部闭锁装置，防止其它人员误入。

9、定期对医院射线装置的安全和防护设施进行有效性检查，落实监督各项管理制度的执行情况，对发现的安全隐患立即进行整改，避免事故发生。

本报告项目在落实了以上的各种安全防护措施后，能满足 GB18871-2002、HJ1188-2021 和 GBZ130 -2020 中相关规定要求。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

为有序开展核技术应用，加强辐射安全管理，应对可能发生的意外情况，最大限度的减少或消除隐患，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》及生态环境主管部门的要求，大同市第三人民医院已成立辐射防护领导小组，由院长任组长，分管副院长任副组长，各科主任为组员。配备 1 名具备本科以上学历的辐射防护专职管理员，规定了辐射防护领导小组职责，全面负责医院辐射安全与防护的管理工作，制定了医院各项辐射防护管理制度，并对执行情况进行监督检查。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》等相关规定要求，大同市第三人民医院制定了各项管理制度，主要包括操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。针对本报告项目重新修订或完善的管理制度见下表：

表 12-1 本项目重新修订或完善的管理制度

序号	核医学科与介入科 DSA1 室	介入科 DSA1-2 室
1	辐射安全与防护管理制度	
2	安全保卫制度	
3	场所分区管理规定	
4	监测方案	
5	监测仪表使用与校验管理制度	
6	辐射工作人员培训/再培训管理制度	
7	辐射工作人员个人剂量管理制度	
8	安全防护设施的维修与维护制度	
9	核医学科岗位职责	介入科岗位职责
10	放射性药物操作规程及质控管理制度	DSA 操作规程及质控管理制度
11	放射性药物台账管理制度	放射性“三废”管理制度
12	核医学 PET、SPECT 显像管理制度	/
13	碘治疗病房管理制度	/
14	放射性同位素去污操作规程	/
15	放射性“三废”管理制度	/

12.3 辐射监测方案

12.3.1 监测目的

通过对本项目周围环境辐射剂量率和 β 表面污染的监测，了解对环境的影响程度；通过对职业人员的个人有效剂量的监测，了解对职业人员受照情况，为项目的安全管理防护措施的改进及职业评价提供依据。

12.3.2 监测任务的承担单位

由医院承担日常自主检测，每年委托有资质的单位进行年度检测和个人剂量监测。

12.3.3 监测依据

《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）、《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）、《表面污染测定第一部分 β 发射体》（GB/T14056-2008）和《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）。

12.3.4 监测内容及频次

核医学科工作场所关注点和存源装置的辐射水平，不少于1次/月；表面污染每次工作结束（发生药品洒落后及时监测）；辐射工作人员个人剂量监测，1次/3个月。

12.3.5 工作场所及环境辐射监测布点

表 12-2 辐射防护检测情况位置及数量

序号	检测项目		检测对象	检测类型	检测位置描述	点数
1	控制区场所	墙外/顶/地下	防护屏蔽	外照射	距离墙体外 0.3m，高 1.2m 处	≥ 1
2		防护门			楼上高 1.0m 处，楼下高 1.7m 处	≥ 4
3		观察窗			防护门中央及门缝外 0.3m 处	≥ 1
4		管线/通风口			观察窗、管线及通风口 0.3m 处	各 1
5		人员操作位			操作位高 1m，头、胸、腹部位	各 1
6	核医学科		人员	表面污染	手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽	≥ 1
7	^{99m}Tc 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm		手套箱	外照射	观察窗、操作位装置周围（5cm）	≥ 3
			注射台/车	外照射	观察窗、手孔位、操作位	≥ 3
			屏蔽容器	外照射	表面 5cm 及 100cm 处	≥ 4
			注射、分装及候诊区	表面污染	地面、座椅、台面、洗手池、床面及可能污染的位置	≥ 4
8	^{131}I 治疗		自助服药	表面污染	地面、座椅、台面、洗手池、床面及可能污染的位置	≥ 4
			自动分装	外照射	观察窗、手孔位、操作位	≥ 4
9	^{125}I 、 ^{32}P 、 ^{90}Y		工作场所	外照射 表面污染	操作位、地面、台面等放射性废物桶表面 5cm 及 100cm	≥ 4

注：委托有资质单位进行周围环境年度监测，频次为 1 次/年。

12.3.6 放射性三废的监测内容及频次

(1) 气态放射性废物监测：在排风系统总出口设置采样口，建设单位或委托有资质的单位对其进行监测，保障其有效性，监测频次不少于 1 次/年。

放射性废水排放监测：在各衰变池废液每次排入医院污水处理设施前，需对即将排放的放射性废液进行取样监测，当浓度小于 10Bq/L 时，监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871-2002 规定的方式排放。严禁不检测、不达标或未经审管部门认可前排放，并做好记录存档备案。每年对短半衰期衰变池中的放射性废液进行监测。

(3) 固体放射性废物监测：固废处置前须进行监测，达到清洁解控水平后，按普通医疗废物处置，不能解控的固废，送交有资质单位处理。

12.3.7 个人剂量监测

放射工作人员在工作时必须佩戴个人剂量计，并将个人剂量结果存入档案。个人剂量监测交由具有个人剂量监测资质的单位进行。

监测频次为 1 次/3 个月，4 次/年。并将监测结果及时填报至“全国核技术利用安全申报系统”，并编入《放射性同位素与射线装置安全和防护状况年度评估报告》，接受管理部门的监督（检测）检查。

12.4 辐射工作人员培训计划

医院现有辐射工作人员均参加了辐射安全和防护知识培训，并取得了合格证。今后新增人员应按照国家相关规定进行学习考核，持证上岗。

12.5 辐射事故应急预案

大同市第三人民医院制定了《辐射事故应急预案》，预案中明确了应急指挥机构、人员组成、应急部门及人员职责、发生辐射事故时的报告、通讯联络方式、应急处置方式、应急演练等内容。

《辐射事故应急预案》应包含新开展项目可能发生的辐射污染情况，明确辐射事故分级及应急响应措施，应急处置流程等。针对本报告项目应急响应措施主要包括：

(1) 由于操作不慎，有药物溅洒，射性核素污染了地面或台面时，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，用药棉或纸巾擦抹，直到擦干污染区。最后用表面污染监测仪测量污染区，直到该污染区表面污染小于 4.0Bq/cm² 为止。擦拭产生的固体放射性废物应统一

收集在污物桶内。

(2)若发生放射性药物丢失、失窃，应1小时内将事故情况通报大同市生态环境局平城分局等有关主管部门，积极提供丢失、失窃事故的时间、原因等信息，配合相关部门查找丢失、失窃放射性同位素，做好放射性同位素丢失前存放场所的辐射监测，发现异常，立即设置警戒区，撤离警戒区内的所有人员，事故调查人员携带辐射监测仪器，佩戴个人剂量计，做好个人防护。

(3)放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

(4)完善应急预案，包括应急人员的培训演习计划，组织演练，并及时总结归纳。

12.6 环境保护投资估算及竣工验收

12.6.1 环保投资估算

计划在新建医院医技急诊楼地下二层北侧新建核医学科，拟使用9种放射性核素⁹⁹Mo (^{99m}Tc)、¹⁸F、⁶⁸Ge (⁶⁸Ga)、¹³¹I、⁸⁹Sr、¹⁵³Sm、³²P、⁹⁰Y和¹²⁵I粒籽源，拟配备1台PET/CT、1台PET/MR、2台SPECT/CT设备，开展核医学诊疗工作；在地上五层西北侧新建介入科，使用2台DSA设备，开展介入诊疗工作；利用新建核医学科和介入科DSA1室开展钇-90树脂微球介入治疗工作。新建医院医技急诊楼为主体建设投资，本项目投资主要用于设备购置和工作场所的屏蔽防护工程及安全防护设施建设、内部装修等，计划总投资6000万元，环保投资300万元，占总投资的5%。见下表：

表 12-3 辐射防护措施及环保投资一览表

项目	“三同时”措施	内容或要求	投资(万元)
辐射安全管理机构	辐射防护管理	建立以法定代表人为第一责任人的安全管理机构，配备 1 名具备本科以上学历的辐射防护专职管理员。	/
辐射安全防护措施	屏蔽设施	核医学科与介入科工作场所的屏蔽防护工程建设（参考表 1-2 和表 1-7），核医学科同时配备 6 个手套箱。	260.0
	安全措施	建设通风设施、衰变池等、粘贴警示标志及告知、门灯连锁系统、安装门禁和视频监控和对讲广播装置。	30.0
人员配备防护用品	人员培训	新增核医学辐射工作人员参加“核医学”辐射安全与防护考核，考核后方可上岗。 介入科辐射工作人员参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，考核后方可上岗。	1.0
	防护用品	核医学科配备 10 个转运防护盒、5 个钨合金注射器屏蔽套、3 个注射台注射窗、10 个铅废物桶、10 个移动铅屏风、5 套个人防护用品、10 套放射性污染防护服、2 支长柄镊子、2 个有机玻璃眼镜或面罩及 1 箱应急去污用品的配备等；介入科为辐射工作人员配备 10 套个人防护用品、为受检者配备 2 套个人防护用品，每台 DSA 设备各配备 1 块铅悬挂防护屏、1 块床侧防护帘和 1 块移动铅屏风。	6.5
监测仪器	监测仪器	已配备 1 台表面污染仪、1 台辐射巡测仪和 4 台个人剂量辐射报警仪。 在核医学控制区出入口各配备固定式辐射监测仪。	1.0
	个人剂量计	委托资质单位开展个人剂量监测工作，辐射工作人员每人配备 1 支。	1.5
辐射安全管理制度		完善辐射安全管理规定、放射性药物管理、场所分区管理、岗位职责、操作规程、病房管理、监测方案、人员培训、辐射工作人员个人剂量管理、安全设施维护维修制度、放射性三废管理制度及辐射事故应急预案等各项管理制度。	/
共计		/	300.0

12.6.2 环保竣工验收建议

根据生态环境部辐射安全与防护监督检查技术程序内容要求，结合本报告项目实际情况，项目环保竣工验收建议内容见下表。

表 12-4 环保验收内容建议表

验收内容	验收要求
相关批复	环评批复文件是否齐备。
工程内容	核素的种类和范围，辐射工作场所位置、布局是否与环评一致。
剂量限值与剂量约束值	<p>核医学科：控制区或机房外人员可达处和控制区内，距屏蔽体外表面 0.3m 处周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h，控制区内蔽体外偶尔有人员居留区域应不大于 10μSv/h；放射性药物合成和分装箱体、手套箱、注射窗等设备表面 0.3m 处人员操作位的的周围剂量当量率应不大于 2.5μSv/h，非人员操作位表面的周围剂量率小于 25μSv/h。</p> <p>人员年有效剂量约束值满足职业人员 5mSv/a、公众 0.1mSv/a 的要求；职业人员手部当量剂量限值 125mSv/a。</p> <p>放射性废液排放按照 GB18871-2002 中 8.6.2 的规定方法排放，放射性废液单次排放活度要小于 1ALI_{min}，用不少于 3 倍的水冲洗，单月排放活度小于 10ALI_{min}，排入 10 倍的排水流量管道。放射性废水总排放口总β不大于 10Bq/L，含碘-131 废液需存放超过 180 天，放射性活度浓度不大于 10Bq/L。记录监测结果，存档备查。</p> <p>固体放射性废物应分类收集和分别处置，表面清洁解控限值为β小于 0.8Bq/cm²，不能解控的固废包装体外剂量率不超过 0.1mSv/h，表面污染（β和γ）小于 4Bq/cm²。</p> <p>介入科：职业人员剂量约束值：手术医师有效剂量 5mSv/a、控制室操作人员 2mSv/a、手术医师四肢当量剂量 200mSv/a、公众 0.1mSv/a；</p> <p>机房屏蔽体外周围剂量当量率限值 2.5μSv/h。</p>
防护用品监测仪器	<p>防护用品：核医学科配备转运防护盒、钨合金注射器屏蔽套、注射台注射窗、铅废物桶、移动铅屏风、个人防护用品、放射性污染防护服、长柄镊子、有机玻璃眼镜或面罩及应急去污用品的配备等；</p> <p>介入科为辐射工作人员配备个人防护用品、为受检者配备个人防护用品，每台 DSA 设备各配备 1 块铅悬挂防护屏、1 块床侧防护帘和 1 块移动铅屏风。</p> <p>监测仪器：对辐射工作人员每人配置个人剂量计，配备便携式辐射剂量仪和表面污染仪等。在控制区出入口配备固定式辐射监测仪。</p>
人员培训	<p>新增核医学辐射工作人员参加“核医学”辐射安全与防护考核，考核后方可上岗。</p> <p>介入科辐射工作人员参加“医用 X 射线诊断与介入放射学”辐射安全与防护考核，考核后方可上岗。</p>
辐射安全防护措施	<p>警示标志：DSA、PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 机房门上均应设置工作指示灯，工作场所设置电离辐射标志牌和辐射警告标语。</p> <p>设置机房门机（灯）联锁、门禁装置、视频监控对讲系统。</p> <p>通风设施：按环评要求建设气态放射性废物通风系统。</p> <p>衰变池：按环评要求建设放射性废水衰变池。</p>
管理及规章制度	<p>针对本报告项目的源项涉及的核医学科和介入科，补充制定或重新修订管理制度；</p> <p>建立放射性废物收集、贮存、排放管理台账，做好记录并存档备案。</p>
应急预案	<p>成立医院辐射事故应急领导小组，制定辐射事故应急预案，明确应急处理组织机构及职责、应急人员的组织、培训，辐射事故分级及应急措施、辐射事故的调查、报告和处理程序等，卫生备查应急预案，涵盖本报告项目。</p>

12.7 从事辐射活动能力评价

依据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及《辐射安全与防护监督检查技术程序》的规定，现对大同市第三人民医院从事本报告项目辐射活动能力评价列于下表。

表 12-5 执行《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求对照表

序号	要求	环评拟落实情况
1	应当设有专门的辐射安全环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作；其他辐射工作单位应当有 1 名具有大专以上学历的技术人员专职或兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	医院已成立辐射防护领导组，并指定了 1 名具有本科以上学历的专职管理人员，负责医院的辐射安全与防护管理工作。
2	从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	核医学科计划配备辐射工作人员 24 人，其中 4 人为现有辐射工作人员，拟计划新增 20 名辐射工作人员；DSA 室计划配备辐射工作人员 12 人，其中 6 人为现有辐射工作人员，其余 6 人为新上岗人员。现有人员均参加了培训与考核，持证上岗；新增人员拟培训考核后上岗。
3	放射性同位素与射线装置使用场所防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射要求的安全措施。	制定了相应的操作规程，控制区出入口拟设置门禁装置，DSA 和核医学显像设备机房门上拟安装工作状态指示灯，门灯连锁，张贴电离辐射警告标志等。
4	配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量监测报警、辐射监测等仪器。使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染检测仪。	已配备了便携式剂量监测仪、表面污染检测仪及个人剂量报警仪。拟配备固定式报警仪、防护衣、防护眼镜、口罩等个人防护用品。
5	有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、放射性同位素使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	制定和完善健全的规章制度、操作规程、岗位职责及辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等。
6	有完善的辐射事故应急措施。	成立了辐射事故应急领导组，编制并完善医院辐射事故应急预案。
7	产生气态放射性废物、废液、固体废物的，还应具有确保气态放射性废物、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	核医学各功能区拟设置独立排风系统及高效净化过滤装置；拟建设符合要求的放射性废液衰变池；拟配备固体放射性废物铅屏蔽废物桶，配置专门的放射性废物间，三废处理措施合理。

表 12-6 执行《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》要求对照表		
序号	要求	本单位拟落实情况
1	第五条 生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所,应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志,其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求,设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。	医用 X 射线机房门口拟张贴电离辐射警告标志及配有“当心电离辐射”的中文警示说明,拟安装工作状态指示灯,并门灯联锁;拟在控制区出入口和病房安装门禁装置,拟控制区各功能场所安装视频监控;
2	第七条 放射性同位素的包装容器、含放射性同位素的设备和射线装置,应当设置明显的放射性标识和中文警示说明。	核医学科放射性同位素的包装容器置明显的放射性标识、警示标识和中文警示说明。
3	第九条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照国家环境监测规范,对相关场所进行辐射监测,并对监测数据的真实性、可靠性负责;不具备自行监测能力的,可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。	已配备辐射监测报警仪仪器等监测设备,可以开展自主检测;每年 1 次委托有监测资质的单位对辐射工作场所及其周围环境进行监测;同时每年均需对核医学科排风口和衰变池出水进行检测。
4	第十二条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估,并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。	每年 1 月 31 日前向管理部门提交年度环境影响评估报告。2022 年年度评估报告已提交。
5	第十七条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲,对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训,并进行考核;考核不合格的,不得上岗。	核医学科计划配备辐射工作人员 24 人,其中 4 人为现有辐射工作人员,拟计划新增 20 名辐射工作人员;DSA 室计划配备辐射工作人员 12 人,其中 6 人为现有辐射工作人员,其余 6 人为新上岗人员。现有人员均参加了培训与考核,持证上岗;新增人员拟培训考核后上岗。
6	第二十三条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准,对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测;发现个人剂量监测结果异常的,应当立即核实和调查,并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,应当安排专人负责个人剂量监测管理,建立辐射工作人员个人剂量档案。个人剂量档案应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。个人剂量档案应当保存至辐射工作人员年满七十五周岁,或者停止辐射工作三十年。	对所有从事放射性工作的人员落实配备个人剂量计,每季度送检一次,建立辐射工作人员个人剂量档案,终生保存。
7	第二十四条 生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位,不具备个人剂量监测能力的,应当委托具备条件的机构进行个人剂量监测。	现委托山西安弘检测技术有限公司(资质单位)进行个人剂量监测(每季度 1 次)。

表 12-7 非密封放射性物质医学应用场所监督检查技术程序检查对照表

(NNSA/HQ-08-JD-IP-030)

1、场所安全和防护设施			
序号	检查项目	项目拟设置、配备情况	符合性
1	场所分区布局是否合理及有无相应措施/标识	医院按照相关要求在核医学诊疗场所划分了控制区和监督区，实行分区管理，在控制区出入口安装门禁装置，管控人员出入，进行屏蔽防护设计，张贴电离警告标志和人员导向标识。	符合
2	电离辐射警告标志	拟在控制区出入口，存储放射性药物防护门、检查机房门等张贴“电离辐射警告标志”。	符合
3	独立的通风设施	拟设置 1 台新风风机、4 组排风系统和 6 个手套箱排风管道，经过滤净化装置处理后在医技急诊楼顶排出发。	符合
4	治疗病房病人之间防护	每个治疗病房安排 1 名病人住院治疗。	/
5	给药操作人员屏蔽	拟在注射室设置铅屏蔽注射台，配备注射器铅套，注射医护人员你配备个人防护用品。	符合
6	易去污的工作台面	工作台拟设置为不锈钢材质、易清洁。	符合
7	病人专用卫生间	在候诊室和病房拟设置专用卫生间。	符合
8	放射性核素暂存场所或设施	在高活区拟设置储源库。	符合
9	表面污染监测仪	已配备一台表面污染检测仪。	符合
10	便携式辐射水平监测仪	已配备一台便携式剂量监测仪。	符合
11	个人剂量计	每名职业人员均配备个人剂量计。	符合
12	个人剂量报警仪	已配备 4 台个人剂量报警仪。	符合
13	放射性废液处理排放系统及标识	在医技急诊楼西北侧地下拟设置 2 个放射性废液衰变池，地面设置围栏和辐射警示标识。	符合
14	固体放射性废物暂存场所或设施	各诊疗区配置放射性污物桶，在核医学科设置放射性废物暂存间。	符合
15	个人防护用品	拟配备防护铅衣、铅眼镜、铅防护三角巾、铅帽、铅围脖和污染防护服等防护用品。	符合
16	放射性表面去污用品和防污染材料	按要求配备去污用品和应急物资。	符合

注：该监督检查程序适用于本报告中新建核医学科（B2）和介入科 DSA1 室（5F）。

表 12-8 DSA 工作场所监督检查技术程序检查对照表

数字减影血管造影 X 射线装置(DSA)监督检查技术程序 (NNSA/HQ-08-JD-IP-035)			
辐射安全防护措施			
序号	检查项目	本单位拟落实情况	是否符合要求
1	单独机房	设置单独机房。	符合
2	操作位局部屏蔽防护设施	机房顶安装可移动的悬吊式铅防护屏，手术床的床沿悬挂铅围帘。	符合
3	医护人员的个人防护	拟配备防护铅衣等。	符合
4	患者防护	拟配备防护铅衣等。	符合
5	机房防护门窗	拟安装 3mmPb 防护门和观察窗。	符合
6	闭门装置	患者防护门设置闭门装置。	符合
7	入口处电离辐射警告标志	入口处拟贴电离辐射警告标志。	符合
8	入口处机器工作状态显示	患者门上拟安装工作状态显示灯。	符合
9	监测仪表	购置 1 台便携式剂量仪。	符合
10	个人剂量计	医院所有辐射工作人员均配备热释光个人剂量计。	符合
管理制度			
1	辐射安全与环境保护管理机构	成立医院辐射安全与环境保护管理机构，法人任组长。	符合
2	运行操作规程	制订 DSA 操作规程。	符合
3	安全防护设施的维护与维修制度	制订完善安全防护设施的维护与维修制度。	符合
4	场所及环境监测方案	制订完善场所及环境监测方案。	符合
5	检测仪表使用管理制度	制订完善检测仪表使用管理制度。	符合
6	辐射工作人员培训/再培训管理制度	制订完善辐射工作人员培训/再培训管理制度。	符合
7	辐射工作人员个人剂量管理制度	制订完善辐射工作人员个人剂量管理制度。	符合
8	辐射事故应急预案	制订完善辐射事故应急预案。	符合
<p>注：该监督检查程序适用于新建介入科 DSA1-2 室（5F）。</p> <p>通过以上分析可知，在采取环评规定措施情况下，本院从事本项目辐射活动的技术能力符合相应法律法规的要求。</p>			

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

本报告共分析评价了大同市第三人民医院三个核技术利用项目。

1、计划在新建医技急诊楼地下二层（B2）北侧新建核医学科，拟使用 9 种放射性核素 ^{99}Mo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)、 ^{18}F 、 ^{68}Ge (^{68}Ga)、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 、 ^{153}Sm 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 和 ^{125}I 粒籽源，拟配备 1 台 PET/CT、1 台 PET/MR 和 2 台 SPECT/CT 设备，为乙级非密封放射性物质工作场所。本项目使用的 PET/CT 和 PET/MR 各配备 2 枚 V 类放射源 ^{68}Ge 作为设备校准源。

2、计划在新建医技急诊楼在地上五层（5F）西北侧新建介入科，使用 2 台 DSA 设备，为 II 类射线装置使用场所，开展介入诊疗工作。

3、计划利用新建核医学科和介入科 DSA1 室开展 ^{90}Y 树脂微球介入治疗项目。介入科 DSA1 室为乙级非密封放射性物质工作场所和 II 类射线装置使用场所。

本报告项目的投资主要用于设备购置和工作场所的屏蔽防护工程及安全防护设施建设、内部装修等，计划总投资 6000 万元，环保投资 300 万元，占总投资的 5%。

13.1.2 产业政策符合性及实践正当性分析

本报告新建核医学科采用核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 和 ^{68}Ga 的标记物来进行肝、肾、肺、心、脾、淋巴、骨髓、脑池、脊髓、骨骼等器官的炎症、肿瘤等病理显影定位，利用核素 ^{131}I 进行甲癌、甲亢的治疗和吸碘率的诊断，使用核素 ^{89}Sr 和 ^{153}Sm 治疗肿瘤骨转移，使用核素 ^{32}P 进行敷贴治疗， ^{90}Y 树脂微球和 ^{125}I 粒子植入治疗肿瘤；依据《产业结构调整指导目录（2021 年本）》中第六项“核能”中第 6 条“同位素、加速器及辐照应用技术开发产业”，属于鼓励类产业，符合国家产业政策。

本报告新建介入科 DSA 属于《产业结构调整指导目录（2021 年本）》中第十三项“医药”中第 4 款“数字化医学影像设备、介入设备与材料及增材制造技术开发与应用”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

大同市第三人民医院开展核医学和介入治疗工作的目的是为救治病人，保障公众健康，经估算，本报告项目引起的对职业人员和公众照射剂量可控制在医院的管理目标以下，项目实施所获利益远大于其危害，同时符合 GB18871-2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中辐射防护“实践的正当性”要求。

13.1.3 选址及平面布局合理性

新建医技急诊楼为地上7层地下3层建筑，位于医院院区南部。新建核医学科位于新建医技急诊楼的地下2层（B2），为独立封闭场所，B3为放疗中心，B1为病案和药品库房；核医学科从北至南主要分为5个区域：北部是医护人员办公区和PET/CT诊疗区、中部是药物操作区（高活区）和SPECT/CT诊疗区、南部是碘治疗区。核医学科东侧为患者入院接诊和核医学门诊，服药病人从西侧电梯或步梯出院。

新建介入科位于新建医技急诊楼地上五层（5F）西北侧，4F为药物配置场所，6F为ICU病房，两个DSA机房并排设置，东侧为DSA1室，西侧为DSA2室，共用一个控制室位于DSA机房北侧，DSA1机房东侧为走廊和手术室，南侧为洁净走廊和患者入口，DSA2机房西侧为医护走廊和辅助用房，DSA机房楼上为ICU病房（6F），楼下为药品配置房（4F）。

根据“诊治工作要求、有利于辐射防护和环境保护以及各组成部分功能分区明确，既能有机联系，又不相互干扰”的原则，新建核医学科和介入科为独立封闭场所，各区域相对独立，周围场所均为无人长期居留的场所，不毗邻产科、儿科、食堂等相关功能科室，有单独的人员、物流通道，与周围非辐射工作场所有明确的物理分界隔离，控制区、监督区分区明确，控制区设置门禁装置。核医学工作场所排风口位置周围50m范围均在医院区域内，排风口设置位置尽可能远离周边高层建筑，符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中核医学科工作场所选址的要求，平面布局合理可行。

核医学科从北至南主要分为5个区域：医护人员办公区、PET/CT诊疗区、药物操作区（高活区）、SPECT/CT诊疗区和碘治疗区，控制区相对集中。核医学科设置有单独的出入口，走廊出入口及病房等防护门拟设置有门禁系统，限制患者或受检者的随意流动。该项目设有相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物通道，防止交叉污染。控制区出入口设立了卫生缓冲区，控制区内设有给药后患者留观及住院的专用卫生间，项目布局符合《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）核医学科工作场所平面布局的要求。

13.1.4 辐射安全与防护能力分析

1、辐射屏蔽措施

核医学科对控制区进行了屏蔽防护设计，介入科对导管室机房进行屏蔽防护设计。

通过对本报告项目功能场所的屏蔽体和防护门的辐射剂量率进行估算，能够满足屏蔽体外 30cm 的剂量率小于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 、 $10 \mu\text{Sv/h}$ （人员偶尔居留区域）的限值要求，因此，其屏蔽能力符合辐射防护安全的要求。

2、安全防护设施

本报告项目控制区出入口拟安装门禁装置，PET/CT、PET/MR、SPECT/CT 和 DSA 机房设置了门灯连锁，门外有电离辐射警告标志和工作指示灯；放射性药物的淋洗制备、分装标记均在密闭的手套箱中进行，药物注射区配备了铅屏蔽注射台和注射器铅罩，每治疗区域设置了源库、放射性污物暂存间和应急去污用品，注射后候诊留观室和病房配备了污物桶和移动铅屏风，为医护人员配备了个人防护用品和个人剂量计；医院已配备辐射检测仪器，用于周围环境进行自主监测；非密封核素操作场所配备了表面污染检测仪，控制区内拟安装视频监控和对讲广播等安全防护设施。通过与《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》及监督检查程序的规定进行对照检查，本项目核医学科与介入科的安全设施能够满足安全防护需求，符合相关法规、标准的规定要求。

3、职业人员的配备

核医学科计划配备辐射工作人员 24 人，其中 4 人为现有辐射工作人员，拟计划新增 20 名辐射工作人员；DSA 室计划配备辐射工作人员 12 人，其中 6 人为现有辐射工作人员，其余 6 人为新上岗人员。现有人员均参加了培训与考核，持证上岗；新增人员拟培训考核后上岗。；新增人员应参加相应辐射防护和专业知识培训，考核后上岗。

综上：通过与相关法规和监督检查技术程序进行对照检查，本报告项目采取的场所分区管理、辐射屏蔽设计、安全设施及其人员配备等能力均能满足要求。

13.1.5 环境影响分析

1、现状剂量率评价

从本报告项目的辐射环境现状监测结果可知，周围 50m 范围的环境 γ 辐射剂量率在

(0.05~0.07) $\mu\text{Gy/h}$ 之间, 为大同市天然辐射本底水平; 经检测采样土壤中总 α 为 336Bq/kg、总 β 为 718Bq/kg, 土壤中 ^{125}I 、 ^{153}Sm 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga 核素放射性均低于样品中放射性核素活度浓度探测限。

2、辐射环境影响预测评价

新建核医学科职业人员最大年有效剂量为 3.808mSv/a, 职业人员手部年最大当量剂量为: 0.9360mSv/a, 周围公众年有效剂量 0.0798mSv/a, 均小于职业人员 5mSv/a 的有效剂量约束值, 200mSv/a 的当量剂量(手部)约束值和公众 0.1mSv/a 有效剂量约束值要求。介入科 DSA 室手术医师年有效剂量 3.504mSv/a, 手术医师腕部当量剂量为 25.95mSv/a, 介入科 DSA 控制室辐射工作人员年有效剂量 0.0108mSv/a, 周围公众年有效剂量 0.0430mSv/a, 均小于手术医师 5mSv/a 的剂量约束值, 200mSv/a 的当量剂量(手部), 控制室辐射工作人员 2mSv/a 的剂量约束值和公众 0.1mSv/a 有效剂量约束值要求。

3、放射性废物对周围环境的影响

新建核医学科在医技急诊楼西北侧空地地下拟建设 2 个放射性废液衰变池, 其中短半衰期衰变池容积为 28.5 m^3 , 采用三级推流式工艺, 后置放射性废液检测池; 长半衰期衰变池(^{131}I)容积为 266.4 m^3 , 采用 3 格槽式工艺, 存二排一, 交替贮存、排放, 通过对衰变池设计的估算, 短半衰期衰变池可存放废液约 30 天, 含碘衰变池 2 格存满的贮存时间为 284 天, 超过标准要求的 180 天, 两个衰变池排放浓度总 β 小于 10Bq/L, 符合相关规定要求, 不会对环境产生较大影响。

^{90}Y 治疗患者留观住院期间排泄物的放射性含量很小, 低于 GB18871-2002 规定的 ALImin 限值和豁免浓度, 原则上可直接排放。从偏安全考虑, 专用病房设置在新建核医学科(B2)场所内西侧, 设置专用卫生间, 患者排放废液排入短半衰期衰变池。

新建核医学科拟设置 2 支新风管道、5 套排风系统。新风管道分别为非活性区和活性区供给新风, 5 个排风系统分别为 PET/CT 区域排风系统、SPECT/CT 区域排风系统、 ^{131}I 治疗区排风系统、甲癌病房排风系统和 6 个手套箱独立通风系统。PET/CT 区域排风系统、SPECT/CT 区域排风系统、 ^{131}I 治疗区排风系统和甲癌病房排风系统均通过核医学科西侧的排风风井引至新建医技急诊楼顶排放, 楼顶排风口设置检测口。手套箱排风系统通过核医学科东南部的排风风井引至新建医技急诊楼顶排放。

核医学科各区域拟设置放射性污物暂存间，并配备了放射性废物桶或专用容器，用于收集、贮存固体放射性废物，经监测固体放射性废物表面达到清洁解控水平后，按普通医疗废物处理，不能解控的固废，送交有资质的单位处理，固体放射性废物的转运路径与药品同路径，利用时间差进行有序转运，不重叠交叉，不会影响周围环境。

新建核医学科拟建立放射性废物收集贮存、定期排放的管理台账，专人负责，做好记录并存档备案。

4、非辐射环境影响分析

DSA 运行期间不产生放射性三废，可能会产生少量的有害气体，机房设置了机械排风装置，直接排出室外不会对周围环境造成明显影响。

DSA 为数字成像，不产生洗片废水，可能会产生少量的医用器具和药棉、纱布、等医用辅料，按医疗固体废物处置。如果病人需要打印胶片，由病人带走自行处理。

DSA 运行期间通风装置及空调会生产一定的噪声，噪声等级较低，经距离衰减及建筑隔声后不会对周围环境造成影响。

13.1.6 辐射安全管理

大同市第三人民医院已成立辐射防护领导机构，配备了 1 名具有大学本科以上学历的专职人员，具体负责日常辐射安全与环保工作；制定了多项辐射防护管理制度、培训计划、监测方案和监督检查程序，组织实施辐射安全防护措施和落实各项管理制度；成立了辐射事故领导组，编制了涵盖新建核医学科的辐射事故应急预案。

大同市第三人民医院在本项目运营前对辐射安全管理规章制度进行补充和修订完善，可以满足本项目的辐射安全管理要求。

13.1.7 总结论

综上所述，大同市第三人民医院新建乙级非密封放射性物质工作场所、使用 II 类医用射线装置和使用 ^{90}Y 树脂微球介入治疗项目在充分落实本报告提出的污染防治和管理措施后，具备从事相应工作的技术能力和安全防护措施，运行期间对周围环境的辐射影响符合环境保护的要求，故从辐射环保角度论证，项目建设和运行是可行的。

13.2 建议

- 1、按照标准要求配备必要的个人防护用品和应急去污用品。
- 2、核医学衰变池地面应设置围栏，悬挂电离辐射警告标志，严格按照控制区规定要求管理，提水泵要设计 1 用 1 备，避免因设备故障发生辐射事故。
- 3、关注近台操作手术医师的腕部剂量，合理安排手术数量。
- 4、辐射工作人员配置规划合理，拟计划新上岗人员需尽快配置到位，满足日常工作需要。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

经办人

公 章

年 月 日

审批意见：

经办人

公 章

年 月 日